



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



## **PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**EVOLUCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE  
ACCESO MÓVIL DESDE TDM A ALL-IP**

**Mayo 2013**

**Autor: Laura Muñoz Jiménez**

**Directores: Narcís Cardona Marcet**

**Bernat Josep Quiles Hervàs**



# Índice de Contenidos

Índice de Contenidos .....	3
Índice de Figuras .....	7
Índice de Tablas .....	11
I. INTRODUCCIÓN .....	12
II. OBJETIVOS .....	15
III. AGRADECIMIENTOS .....	17
<b>1. PRIMEROS SISTEMAS DIGITALES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR.....</b>	<b>18</b>
1.1. Evolución del Sector de las Telecomunicaciones .....	19
1.2. Telefonía Móvil Celular Digital de Segunda Generación: GSM.....	30
1.2.1. De la 1G analógica a la 2G digital.....	30
1.2.2. GSM: Global System for Mobile Communication.....	31
1.2.3. Servicios soportados por GSM.....	33
1.2.4. Arquitectura de la red GSM .....	33
1.2.4.1. Subsistemas y Elementos GSM.....	34
1.2.4.1.1. Estación Móvil (MS: Mobile Station) .....	34
1.2.4.1.2. Subsistema de Estaciones Base (BSS) / Red de Acceso.....	35
1.2.4.1.3. Subsistema de Conmutación de Red (NSS) / Red Troncal.....	36
1.2.4.1.4. Subsistema de Soporte a las Operaciones (OSS).....	39
1.2.4.2. Interfaces.....	39
1.2.4.2.1. Interfaz Um.....	39
1.2.4.2.2. Interfaz Abis .....	42
1.2.4.2.3. Interfaz A.....	43
<b>2. RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO GSM: TECNOLOGÍAS, TOPOLOGÍA Y ELEMENTOS CONSTITUYENTES.....</b>	<b>45</b>
2.1. Red de Transmisión TDM .....	46
2.1.1. Elección de las Tecnologías de Transmisión.....	46
2.1.1.1. PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona.....	48

2.1.1.2.	SDH: Jerarquía Digital Síncrona .....	52
2.1.1.3.	Comparativa PDH – SDH.....	56
2.1.2.	Despliegue de la Red .....	58
2.1.2.1.	Elementos constituyentes básicos .....	59
2.1.2.2.	Topologías de Red .....	60
2.1.2.2.1.	Topología en Estrella.....	62
2.1.2.2.2.	Topología en Cadena.....	62
2.1.2.2.3.	Topología en Árbol.....	63
2.1.2.2.4.	Topología en Anillo.....	64
2.1.2.3.	Elección del emplazamiento .....	64
2.1.3.	Elementos constituyentes de la Red de Acceso TDM. Equipos disponibles en el mercado .....	70
2.1.3.1.	Estaciones Base (BTS).....	70
2.1.3.1.1.	Estación Base Ericsson: RBS2000 Series.....	70
2.1.3.2.	BSC.....	77
2.1.3.2.1.	BSC GSM Ericsson .....	78
2.1.3.3.	Radioenlaces PDH y SDH .....	80
2.1.3.3.1.	Radioenlace PDH SRAL de Siemens .....	83
2.1.3.3.2.	Radioenlace Mini-Link™ E de Ericsson.....	84
2.1.3.4.	Equipos SDH multiplexores y demultiplexores.....	85
2.1.3.4.1.	SMX de Alcatel-Lucent.....	85
2.1.3.5.	Conexiones Físicas Locales .....	86
2.1.3.6.	Enlaces Lógicos. Proceso de establecimiento.....	86

### **3. AUQUE DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC) Y NUEVAS DEMANDAS DE MERCADO: NECESIDAD DE EVOLUCIÓN DE LA RED DE ACCESO HACIA ALL-IP ..... 90**

3.1.	Evolución del Mercado de las Comunicaciones Tras el Boom Digital .....	93
3.1.1.	Era de la información y Economía del conocimiento.....	93
3.1.2.	Necesidad de mayor ancho de banda y nuevos estándares.....	96
3.1.3.	Proliferación del “Smartphone”.....	98
3.1.4.	Futura evolución a LTE (4G) y convergencia de redes fijas y móviles .....	99
3.2.	Telefonía Móvil 3G (Tercera Generación) .....	100
3.2.1.	De la Segunda a la Tercera Generación pasando por GPRS y EDGE.....	100
3.2.2.	UMTS en España.....	105
3.2.3.	Servicios soportados por UMTS. Ventajas y Desventajas. ....	107

3.2.4.	HSPA y HSPA+ .....	109
3.2.5.	Arquitectura de la red UMTS .....	110
3.2.6.	Subsistemas y Elementos UMTS .....	111
3.2.6.1.	Estación Móvil (MS: Mobile Station).....	111
3.2.6.2.	UTRAN / Red de Acceso.....	112
3.2.6.3.	Red Troncal (Core Network) .....	113
3.2.7.	Interfaces .....	114
3.2.7.1.	Interfaz Uu .....	114
3.2.7.2.	Interfaz Iub.....	114
3.2.7.2.1.	Tipos de Iub .....	117
3.2.7.3.	Interfaz Iu.....	121
3.2.7.4.	Interfaz Iur .....	121
<b>4.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO A ALL-IP .....</b>	<b>122</b>
4.1.	Elección de las Tecnologías de Transmisión .....	123
4.1.1.	Ethernet y Carrier Ethernet.....	125
4.2.	Estrategias de Migración/Evolución .....	133
4.2.1.	Estrategia Descendente o TOP-DOWN .....	136
4.2.2.	Estrategia Ascendente o BOTTOM-UP .....	139
4.2.3.	Estrategia Paralelo .....	141
4.2.4.	Ethernet sobre TDM.....	143
4.2.5.	TDM sobre Ethernet.....	145
4.2.6.	Red Híbrida TDM/Ethernet/IP/MPLS.....	147
4.3.	Equipos disponibles en el mercado.....	150
4.3.1.	Nodos B .....	151
4.3.1.1.	Nodos B de Huawei .....	152
4.3.1.2.	Single BTS de Huawei.....	157
4.3.2.	Radioenlaces Ethernet .....	158
4.3.2.1.	Tipos de Radioenlaces Ethernet.....	159
4.3.2.2.	Diseño de un Radioenlace Ethernet .....	160
4.3.2.3.	Radioenlaces Ethernet en el mercado .....	165
4.3.2.3.1.	Radioenlace Híbrido Huawei (RTN).....	165
4.3.2.3.2.	Radioenlace Híbrido Ericsson (TN) .....	167
4.3.2.3.2.1.	Mapeo de Ethernet sobre PDH.....	169
4.3.2.3.3.	Radioenlace Ethernet Nativo Nokia Siemens (FP).....	170

4.3.3. Equipos MPLS.....	172
4.4. Gestión de la Red.....	172
4.5. Aspectos Económicos de la Migración.....	1724
4.6. Perspectiva Futura: Evolución a LTE y Redes de Próxima Generación (NGN) .....	1746
<b>5. RED TRONCAL DE ACCESO MPLS .....</b>	<b>181</b>
5.1. Orígenes de MPLS.....	182
5.2. Definición y Propiedades.....	184
5.3. Migración a MPLS .....	192
5.4. Arquitectura y Funcionamiento .....	195
5.5. MPLS en la Red de Acceso .....	199
<b>6. EJEMPLOS DE ESCENARIOS.....</b>	<b>213</b>
6.1. Escenarios 2G .....	214
6.1.1. Topología Básica de una BTS por Red PDH/SDH .....	214
6.1.2. Topología por DXX.....	216
6.1.3. BTSs encadenadas .....	217
6.1.4. Topología atravesando Red MPLS.....	220
6.2. Escenarios 3G .....	222
6.2.1. Topología Básica de un Nodo B por Red TDM/ATM .....	222
6.2.2. Topología Full-IP .....	225
6.2.3. FTTN (Fiber To The Node).....	229
6.2.4. Topología Dual-Stack.....	231
6.3. Redes Privadas Virtuales (VPN).....	231
6.4. Escenario Mixto 2G y 3G .....	234
6.5. Escenarios All-IP .....	238
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>240</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>244</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Arquitectura GSM. Unidades funcionales e interfaces. ....	34
Figura 2: Esquema del reparto territorial de BTS a varias BSC .....	35
Figura 3: Red de Acceso Radio - Interfaz Um .....	36
Figura 4: Red de Transmisión de Acceso - Interfaz A-bis.....	36
Figura 5: Esquema de la técnica de acceso al canal FDMA/TDMA-FDD y timeslots por trama GSM.....	40
Figura 6: Jerarquía de Canales Lógicos GSM .....	42
Figura 7: Interfaz Abis - Red de Transmisión de Acceso.....	42
Figura 8: Niveles de Multiplexación PDH en Norteamérica, Europa y Japón .....	50
Figura 9: Esquema de un Multiplexor/Demultiplexor PDH.....	50
Figura 10: Trama E1 con sus 32 Timeslots .....	51
Figura 11: Trama Básica SDH: STM-1.....	53
Figura 12: Esquema de la multiplexación de las distintas tasas PDH dentro de una trama SDH.....	55
Figura 13: Esquema Red GSM y Red de Transmisión de Acceso .....	58
Figura 14: Despliegue progresivo de la Red de Acceso mediante topología en Árbol.....	61
Figura 15: Detalle de Topología en Cadena o Cascada de varias estaciones (BTS/Nodos B).....	62
Figura 16: Detalle de Topología en Cadena o Cascada donde cada Estación dispone de sus propios recursos dedicados hasta el CdC.....	63
Figura 17: Extremos origen y destino en un radioenlace.....	65
Figura 18: Ejemplo de Despliegue en zona de mayor altitud relativa .....	67
Figura 19: RBS2101 Outdoor [5] .....	71
Figura 20: Configuración Drop & Insert .....	74
Figura 21: Esquema de la controladora (BSC) y sus BTSs dependientes. Bastidor BSC.....	78
Figura 22: Interfaces ETC - RALT y RBLT .....	79
Figura 23: Ventajas e inconvenientes de la transmisión radioeléctrica respecto a la transmisión cableada.....	81
Figura 24: Configuraciones que puede presentar un radioenlace (se representa un extremo) .....	82
Figura 25: Vista de un Multiplexor SDH: SMX de Alcatel-Lucent .....	85
Figura 26: Esquema del enlace lógico (E1) de una BTS .....	88
Figura 27: Usuarios de Internet por continentes (2012) [22].....	94
Figura 28: Ejemplo: Esquema del árbol de despliegue de la red de acceso. Los puntos corresponden a emplazamientos con BTS, las líneas representan los enlaces que las unen, siendo su grosor representativo de la capacidad de los mismos .....	95
Figura 29: Tasa de penetración de Internet por continentes (2012).....	95
Figura 30: Esquema de la red GSM con GPRS .....	101
Figura 31: Tecnologías aceptadas como de Tercera Generación por cumplir IMT-2000 .....	103
Figura 32: Esquema de una red UMTS con sus principales unidades funcionales e interfaces.....	111
Figura 33: Ubicación del Interfaz Uu .....	114
Figura 34: Interfaz Iub a través de la red de acceso (UTRAN) .....	115
Figura 35: Planos de Control y de Usuario.....	116
Figura 36 – Pila de Protocolos del Plano de Control usando a) ATM y b) IP .....	116
Figura 37: Pilas de Protocolos del Plano de Usuario usando a) ATM y b) IP .....	117
Figura 38: Esquema de la Multiplexación Inversa para ATM (IMA) .....	118
Figura 39: Nodo B con interfaz Iub Dual-Stack.....	120
Figura 40: Comparativa Costes y Velocidad de Capacidad Alquilada Ethernet vs. E1.....	121
Figura 41: a) Tráfico de datos generado por año y aplicación, en petabytes por mes. b) Ingresos de los operadores de red móvil (MNO). c) ARPU (ingresos medios por usuario), d) Comparativa de crecimiento de tráfico vs. Ingresos. [18] [20].....	124
Figura 42: Modelo de Capas OSI .....	126
Figura 43: Trama Ethernet encapsulando un paquete IP .....	127
Figura 44: Comparativa de la capacidad y granularidad de Ethernet frente a otras tecnologías .....	128

Figura 45: E-Line o EVC punto a punto.....	130
Figura 46: Proceso de segmentación en paquetes de un flujo de tráfico TDM, que se produce en un Circuit Emulation Service (CES) [24] .....	130
Figura 47: E-LAN o EVC multipunto a multipunto .....	131
Figura 48: E-Tree .....	131
Figura 49: Posición de la Capa de Servicios Ethernet respecto a otras .....	132
Figura 50: Esquema de la Red de Acceso y las ventajas de introducir Ethernet .....	132
Figura 51 - Esquema de BSS y UTRAN soportadas por la misma Red de Transporte o Transmisión ....	133
Figura 52: Posición de la Red de Transporte o Transmisión respecto al resto de la red. Estaciones Base 2G y Nodos B 3G la comparten.....	134
Figura 53: Tecnologías y conceptos relacionados con la transición a la red all-IP .....	135
Figura 54: Paso 1 - en la Migración con estrategia Bottom-Up: El núcleo de la red es IP/MPLS pero el resto sigue siendo TDM (PDH y SDH) .....	137
Figura 55 - Paso 2: Migrar el resto de la red a Ethernet progresivamente hasta la última milla. Los nodos B ya se pueden pasar a Full-IP.....	138
Figura 56: Islas Ethernet en la red TDM que se van creando en la estrategia Bottom-Up .....	139
Figura 57: Esquema del proceso de migración a IP usando la Estrategia Paralelo.....	142
Figura 58: Escenario que se tiene en el paso intermedio: los servicios TDM y ATM van por la red legacy mientras que los servicios Ethernet van por la red IP [23] .....	142
Figura 59: Comparativa de costes de aumentar la capacidad de la red de acceso utilizando PDH vs. Ethernet.....	145
Figura 60: Esquema de la red totalmente basada en paquetes que transporta servicios legacy TDM y ATM utilizando pseudowires [23].....	146
Figura 61: Tecnologías y estándares que deben convivir en la red de transmisión durante el proceso de evolución a la red all-IP o de paquetes .....	149
Figura 62: Posible evolución de la pila de protocolos de una red de transporte sobre fibra óptica .....	149
Figura 63: Aspecto de una BBU y RRU, ambas unidades del modelo 3900 .....	154
Figura 64: Esquema funcional y modular de un nodo B (BBU + RRU) .....	155
Figura 65: Frontal de BBU3900 con WMPT, UPEU y WBBP. En las ranuras vacías se pueden insertar otras tarjetas, por ejemplo UTRP o GTMU. Al lado se muestra la numeración habitual de las ranuras donde se insertan las tarjetas.....	155
Figura 66 - DBS3900: BBU y posibles configuraciones de la RRU .....	156
Figura 67: Configuraciones de la RRU .....	156
Figura 68: Detalle de la tarjeta GTMU (GSM Transmission and Management Unit).....	157
Figura 69: Conexión entre puertos Fast Ethernet ópticos de la GTMU y la WMPT para conseguir cotransmisión.....	157
Figura 70: Modulación Adaptativa de un Radioenlace Ethernet .....	159
Figura 71: Esquema de funcionamiento de los radioenlaces TDM y Ethernet (versión híbrida y Ethernet pura).....	160
Figura 72: Ancho de banda dividido en canales de diferentes anchos. Los colores representan el canal elegido (verde) y los canales que consecuentemente resultarán interferentes (rojo) y previsiblemente no se podrán utilizar por otros radioenlaces del mismo emplazamiento o alrededores. Esta interferencia se elimina cambiando la polarización.....	163
Figura 73: Vista frontal del RTN950 (izq.) y del RTN910 (drcha.), señalando sus partes principales ....	166
Figura 74: Funcionamiento Híbrido E1/paquetes en la serie RTN900.....	167
Figura 75: Aspecto de los distintos modelos de Mini - Link Traffic Node de Ericsson .....	168
Figura 76: Esquema de Mini - Link TN Ericsson con mapeo de Ethernet sobre 16 flujos E1. La capacidad virtual es 32Mbps. ....	170
Figura 77: Frontal de los equipos FP A1200 y A2200 de Nokia Siemens Networks .....	171
Figura 78: Arquitectura de LTE y su relación con las de 2G y 3G [27].....	178
Figura 79 - Pilas de Protocolos de los Planos de Control (Izq.) y de Usuario (Drcha.) de los interfaces X2. Las pilas del interfaz S1 son iguales, cambiando el X2-AP por el S1-AP.....	179
Figura 80 - Topología de una red de transmisión de paquetes LTE típica [28].....	179



Figura 81: Posición del protocolo MPLS según el Modelo de Capas OSI. MPLS se encuentra en una capa intermedia entre la Capa de Red (L3) y la de Enlace de Datos (L2).....	183
Figura 82: El tráfico agregado a la salida de un equipo MPLS es inferior al tráfico entrante al mismo. .	186
Figura 83: El LSP puede seguir la ruta indicada por el protocolo SPF (Shortest Path First), o bien la ruta resultante de aplicar Ingeniería de Tráfico.....	187
Figura 84: Conmutación a ruta de protección tras fallo en algún punto de la ruta principal. Los esquemas de protección pueden ser 1+1, 1:1, Fast Reroute (FRR), Protección por agregación de enlaces (LAG), ML-PPP, IMA.....	188
Figura 85: Pila de protocolos habituales utilizando MPLS en una red de transmisión.....	189
Figura 86: Tabla Resumen y Comparativa de IP, MPLS y ATM.....	191
Figura 87: Mapeo de servicios entre interfaces UNI y NNI que se debe producir en un equipo MPLS para poder soportar todos los tipos de tráfico en la red MPLS .....	194
Figura 88: Esquema de la etiqueta o pila de etiquetas MPLS. El anidamiento de etiquetas permite crear túneles a través de las redes MPLS.....	196
Figura 89: Paso de un paquete a través de la red MPLS, donde se le añade y conmuta la etiqueta, hasta que se extrae en el extremo de salida.....	198
Figura 90: Plano de Control y Plano de Datos en un equipo MPLS.....	199
Figura 91: Esquema de los equipos MPLS extremos, que constituyen los interfaces UNI o frontera entre los equipos no MPLS y la red MPLS .....	200
Figura 92: Tipos de Servicios que debe soportar un equipo MPLS para poder transportar servicios legacy e IP.....	201
Figura 93: Esquema de un servicio E-Line (principal y protección) entre dos equipos no MPLS .....	202
Figura 94: Esquema de un servicio E-LAN en la red MPLS.....	202
Figura 95: Esquema del servicio E-Aggr o E-Tree en la red troncal de acceso MPLS .....	203
Figura 96: PWE3 ATM sobre túnel MPLS .....	203
Figura 97: Configuraciones de interconexión entre equipos MPLS (equipos naranjas) típicas, siendo la segunda la configuración futura para el escenario all-IP. También suelen encontrarse combinaciones de éstas.....	206
Figura 98: Interfaz MLPPP en el que 6 enlaces E1 punto a punto se agrupan para formar un enlace de capacidad virtual mayor (12Mbps). De esta forma, se amplía en ancho de banda, y la carga se reparte y protege. ....	206
Figura 99: LSP formado por tres tramos físicos: jerarquía óptica + RE + jerarquía óptica.....	207
Figura 100: Esquemas del transporte de servicios E1, IMA E1 y Ethernet a través de la red MPLS formada por enlaces MLPPP, POS y GE [22] .....	208
Figura 101: Esquema de un PWE3 o CES TDM a través de la red MPLS .....	210
Figura 102: El servicio ofrecido a los usuarios por un determinado site está protegido por diversidad de caminos físicos del tráfico 2G y 3G.....	211
Figura 103: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS - Red TDM - CdC (BSC) .....	214
Figura 104: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS - Red TDM - DXX Trunks - CdC (BSC) ...	216
Figura 105: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS 1- BTS 2 - Red TDM - CdC (BSC).....	217
Figura 106: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido BTS 1- Nodo B - DXX (Trunk) - CdC (BSC y RNC). El site C y el site D pueden ser el mismo o ser emplazamientos diferentes, en función de la BSC y RNC correspondientes. ....	218
Figura 107: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido por 3 BTS encadenadas. La nube representa la red que atraviesa el E1 hasta llegar al CdC: radioenlaces, jerarquías ópticas, trunks entre DXX.....	218
Figura 108: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido por 3 BTS encadenadas. Las nube representan la red que atraviesa el E1 hasta llegar primero a la tercera BTS, y luego al CdC: radioenlaces, jerarquías ópticas, trunks entre DXX... ..	219
Figura 109: Ejemplo: Diversidad de caminos de tráfico 2G y 3G por redes SDH y MPLS, respectivamente, como medida de protección frente a cortes en una de ellas. ....	221
Figura 110 - Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) pasando por red MPLS BTS - Red TDM - Red MPLS (CES) - SDH - CdC (BSC).....	221

Figura 111: Transporte de tráfico TDM a través de la red MPLS mediante CES .....	221
Figura 112: Ejemplo: Nodo B ATM-only. N circuito Lógicos de 2Mbps (E1) se agrupan a la salida del nodo B mediante un Grupo IMA (Nodo B - Red TDM/Ethernet - Red MPLS (IMA) - ATM - CdC (RNC) .....	223
Figura 113 - Esquema del interfaz Iub ATM de un nodo B con N x E1s a través de la UTRAN .....	223
Figura 114: Ejemplo: Nodo B con interfaz Iub Full-IP por ruta IP/Ethernet Nativo.....	225
Figura 115: Ejemplo: Nodos B full-IP que entran a la red MPLS a través del mismo equipo, y compartiendo la conexión FE o GE de entrada al equipo MPLS. Cada uno podría corresponder a una RNC diferente. ....	226
Figura 116: Ejemplo: Arriba) Nodo B con interfaz Iub Full-IP por ruta IP/Ethernet Nativo a través de cadena heterogénea de radioenlaces Ethernet. abajo) Interfaz Iub Full-IP por cadena de radioenlaces homogénea.....	227
Figura 117: Topología de varios nodos B conectados a la red MPLS mediante una red de fibra y equipos FP FTTN. Este escenario podría corresponder a en un núcleo urbano. ....	230
Figura 118: Ejemplo: Red Privada Virtual de Voz. Los E1s se entregan a la red troncal en equipos tipo Gateway. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) puede ser tanto PDH como Ethernet en modo transporte de E1s (TN, RTN, FP). ....	232
Figura 119: Ejemplo: VPN de voz (1*E1 o 30 canales) con protección en la red SDH, aprovechando su topología en anillo. ....	233
Figura 120: Ejemplo: Red Privada Virtual de Datos Ethernet. Entrega a la red troncal en punto de acceso a Broadband. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) debe ser Ethernet con capacidad requerida por el cliente (TN, RTN, FP). ....	233
Figura 121: Ejemplo: Red Privada Virtual de Datos PDH. Entrega a la red troncal en punto de acceso a Broadband. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) puede ser PDH o Ethernet con definición de circuitos CES (TN, RTN, FP). ....	233
Figura 122: Site con 2G y 3G con salida por radioenlace y posterior paso por la red troncal de acceso, hasta llegar a BSC/RNC .....	234
Figura 123: Ejemplo: Topología de un enlace lógico All-IP.....	239

## Índice de Tablas

Tabla 1: Hitos en la Historia de las Comunicaciones Eléctricas [1].....	24
Tabla 2: Niveles de la Jerarquía Digital Síncrona (Arriba). Número de E1s por trama STM-N.....	54
Tabla 3: Tabla comparativa de las propiedades de PDH vs. SDH.....	57
Tabla 4: Clasificación de Radioenlaces.....	80
Tabla 5: Usuarios de Internet en el mundo y estadísticas de población (2012).....	95
Tabla 6: Estándares y tecnologías 3G/IMT-2000.....	105
Tabla 7: Clasificación de Radioenlaces.....	158
Tabla 8: Parámetros de diseño de un radioenlace.....	161
Tabla 9: Precios orientativos de equipos SDH y MPLS, en función de su capacidad e interfaces incluidos .....	175
Tabla 10: Precios orientativos de equipos tipo radioenlace PDH, Ethernet y adaptación de PDH a Ethernet, en función de su capacidad y tipos de interfaces que incluyen .....	175
Tabla 11: PCR o Tasa Pico de Celdas ATM teórica y práctica en función del número de E1s en el nodo B (*para tráfico HSDPA y R99-NRT (non-real-time), para tráfico R99-RT la PCR es de poco más de 2Mbps en todos los casos).....	223
Tabla 12: Parámetros de configuración del Iub ATM de un nodo B.....	224
Tabla 13: Parámetros de configuración del interfaz Iub Full-IP de un nodo B.....	229
Tabla 14: Comparativa de prestaciones de la red TDM y la red basada en IP.....	238

## I. INTRODUCCIÓN

En una sociedad en la que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) adquieren mayor relevancia cada día y las necesidades de los usuarios a la hora de comunicarse y estar conectados con el resto del mundo son cada vez más exigentes, se convierte en algo imprescindible que las tecnologías y redes que hacen eso posible evolucionen a la par, adelantándose incluso a las demandas del mercado.

En particular, el sector de las comunicaciones móviles viene experimentando cambios significativos desde hace algunos años. El desarrollo e implantación de las tecnologías 3G en todas sus versiones (UMTS, HSxPA, HSPA+) ha abierto la puerta a la banda ancha móvil, y junto al gran éxito de los Smartphones, tabletas y tarjetas SIM para PCs, han posibilitado a los usuarios acceder a cualquier contenido desde su dispositivo móvil. Como consecuencia, el consumo de servicios de voz antes dominante está pasando a un segundo plano frente al crecimiento explosivo de los datos móviles, tal como muestran ya todas las estadísticas.

Sin embargo, hay otro agente implicado que suele pasar desapercibido cuando se habla de ofrecer altos anchos de banda y servicios de valor añadido en movilidad: la red de transmisión de datos que está “detrás” de las estaciones de cobertura. La red de transmisión de acceso, en concreto, es fundamental para dar soporte a las tecnologías y estándares de Segunda, Tercera y Cuarta Generación, pues sin cuyo correcto dimensionamiento y mantenimiento sería imposible conseguir las prestaciones que éstos pueden ofrecer.

Su función básica consiste en transportar la señalización e información de usuario entre los equipos controladores (BSC y RNC) y las estaciones remotas de la red de acceso, repartidas por el área geográfica a la que se da cobertura (Estaciones Base y Nodos B); y viceversa, transportar el tráfico recogido en las estaciones hasta sus controladoras.

Dadas su relevancia y la inversión económica que supone el despliegue de una red a través de un área geográfica extensa, la determinación del mecanismo de transmisión y de los equipos que se utilizarán en la red supone una decisión estratégica importante que afecta a la competitividad del negocio, y como tal debe ponerse especial cuidado al hacer la elección. El mecanismo ideal deberá conseguir el equilibrio entre el

uso eficiente de los recursos disponibles, el mantenimiento de la integridad y calidad de las comunicaciones, a un coste razonable y asumible por la operadora.

Las primeras redes de acceso desplegadas debían dar soporte a los estándares 2G, pensados para ofrecer comunicaciones de voz principalmente. Por ello utilizaron TDM en la transmisión de la información, al ser ésta una tecnología de conmutación de circuitos orientada a conexión.

Posteriormente, con la llegada de los estándares 3G el panorama fue cambiando, pues tal como se ha comentado el tráfico de datos comenzó a crecer hasta adquirir el protagonismo en la actualidad. Durante un tiempo la red TDM existente fue capaz de absorber este crecimiento de datos, pero pronto quedaron en evidencia las limitaciones para transportar un tráfico en expansión y para el que no estaba diseñada.

Por este motivo, muchas operadoras decidieron que había que evolucionar o migrar las redes de transmisión de acceso hacia tecnologías más apropiadas para el transporte de datos. En concreto, dada la popularidad de Internet y su pila de protocolos en las redes fijas, se tomó la tecnología IP/Ethernet de conmutación de paquetes como nuevo referente en las redes móviles. Además, elegir un estándar universal permite a las operadoras aprovechar economías de escala logradas con las tecnologías de paquetes basadas en Ethernet.

Sin embargo, teniendo en cuenta la inversión ya realizada en la red TDM, la nueva inversión requerida para implantar una nueva red IP y las grandes sumas pagadas por las licencias de uso de 3G, muchos operadores tuvieron que retrasar el cambio. Finalmente, ante la necesidad de ofrecer nuevos servicios y mayores anchos de banda a sus clientes para mantenerse así en una posición competitiva, muchos operadoras han comenzado el proceso de transformación de sus redes TDM hacia configuraciones basadas en IP, también llamadas All-IP.

Como es de suponer, el despliegue de una red completa y extensa debe hacerse de forma gradual, pues requiere tiempo y una planificación eficiente de los costes y los recursos humanos. Es por ello aconsejable seguir alguna estrategia en la migración, que equilibre la carga de trabajo y el gasto (CAPEX y OPEX), tratando de amortizar en la medida de lo posible los equipos ya existentes y haciendo un uso eficiente de los nuevos recursos instalados.

A medio y largo plazo esta migración resultará en grandes oportunidades para las operadoras, que se aseguran al llevarla a cabo una posición de alta competitividad a la vez que dejarán sus redes preparadas para la llegada de las tecnologías de Cuarta Generación como LTE o WiMAX. Además, disponer de una infraestructura unificada para el transporte de todo tipo de tráfico sobre IP se traduce, por una parte, en un ahorro en costes operativos (OPEX), y por otra, en la posibilidad de llegar a una convergencia entre redes y servicios móviles y fijos.

Todo ello permitirá proporcionar a los usuarios acceso a cualquier contenido (navegación web, correo electrónico, redes sociales, aplicaciones, noticias, videos, televisión, etc.) en cualquier momento y en cualquier lugar, de una forma totalmente transparente para ellos.

## II. OBJETIVOS

El objetivo principal que persigue el presente Proyecto Final de carrera es servir de orientación o guía en el proceso de evolución que están experimentando las primeras redes de acceso móviles desplegadas, que eran/son TDM<sup>1</sup>, hacia redes basadas en una nueva y diferente tecnología, como es IP.

La visión que se pretende dar es tanto teórica como práctica, desde el punto de vista de alguien que ha participado en el proceso de transformación y optimización de una red de transmisión de acceso real, objeto de estudio de este Proyecto. Para ello, se va realizar un compendio de las tecnologías, los equipos y procedimientos utilizados en el despliegue y evolución de la misma hacia una configuración *All-IP*.

El proceso descrito en este documento constituye un paso obligatorio a seguir por todas aquellas operadoras, a nivel global, que deseen ofrecer servicios de valor añadido y mayor ancho de banda a sus clientes, y que además deseen desplegar 4G en el futuro, obteniendo de ello nuevos ingresos. La finalidad de este Proyecto, por tanto, es orientar a aquellas personas que estén (o vayan a estar) inmersas en esta tarea, para que comprendan mejor tanto las circunstancias que justifican el cambio como los aspectos técnicos del mismo.

Para conseguir este objetivo primordial y con el fin de justificar, comprender y describir la necesaria y compleja evolución de la red de transmisión de acceso, se desprenden una serie de subobjetivos:

- Mostrar una breve retrospectiva del sector de las telecomunicaciones, prestando especial atención al surgimiento y evolución de las comunicaciones inalámbricas, a modo de introducción y justificación de la llegada de las redes y comunicaciones móviles tal como se conocen hoy en día, esto es: celulares, digitales y personales.
- Realizar un análisis de la red desplegada en los años 90 para dar soporte a las tecnologías móviles de Segunda Generación, GSM en concreto, tomando como objeto central de estudio la red de transmisión de acceso encargada de transportar la información entre las Estaciones Base (BTS) y la BSC. Se

---

<sup>1</sup> Time Division Multiplexing / Multiplexación por División en el Tiempo

pretende justificar la elección de TDM como tecnología de transmisión para el interfaz Abis de la red GSM, así como describir las diferentes topologías de red posibles y los distintos elementos que la componen.

- Describir el cambio de paradigma que se está produciendo desde hace unos pocos años en el tipo de tráfico que generan los usuarios: se ha pasado de un tráfico mayoritariamente vocal (orientado a conexión y de conmutación de circuitos) a un crecimiento exponencial de los datos móviles (de tipo *bursty* o a ráfagas, y por tanto no orientados a conexión). Se tratará de analizar los antecedentes o motivos que han favorecido este cambio en las tendencias.
- Analizar las limitaciones que muestra la red de transmisión TDM a la hora de cubrir las necesidades actuales y demandas futuras del mercado, el cual aboga por redes basadas en el protocolo IP, que ofrezcan anchos de banda por usuario mucho más elevados que los actuales. Se argumentarán los motivos que han llevado a la elección de la pila de protocolos IP/Ethernet/MPLS como tecnologías de las redes del futuro y la configuración *All-IP* como red objetivo de la migración.
- Describir el proceso de evolución de la red desde TDM a *All-IP*, valorando las diversas estrategias de migración posibles.
- Conocer distintos fabricantes y equipos TDM, Ethernet y MPLS presentes en el mercado, así como sus principales prestaciones y funciones.
- Se justificará el motivo por el que muchas operadoras móviles han optado por desplegar MPLS<sup>2</sup> en sus redes troncales de transmisión de acceso. Se describirán sus principales características, funcionamiento y su papel concreto en la red de acceso móvil.
- Mostrar de forma ilustrativa y detallada cómo se realiza el transporte de la información antes y después de la transformación de la red, a través de ejemplos de diferentes escenarios que pueden encontrarse en una red real.
- Conocer la perspectiva futura de las redes de transmisión de acceso móvil.

---

<sup>2</sup> Multiprotocol Label Switching



### **III. AGRADECIMIENTOS**

La realización del presente Proyecto Final de Carrera ha requerido tiempo y esfuerzo, tanto en los meses de aprendizaje y trabajo sobre una red de telefonía móvil real, como en los meses posteriores de redacción, análisis y síntesis de los conocimientos adquiridos. Por ello me gustaría agradecer a todo aquel que ha aportado algo en su realización. En primer lugar, querría dar las gracias a Bernat Quiles y a Toni Mercadal, Ingenieros de Red en Vodafone España S.A., por invertir su tiempo y dedicación en enseñarme los fundamentos y funcionamiento de una red de transmisión de acceso, así como al resto de mis compañeros de los Departamentos de Ingeniería, GPR y GTR de la sede de Vodafone España S.A. en Valencia, por hacer que el tiempo que he pasado trabajando con ellos haya sido una experiencia muy enriquecedora tanto a nivel personal como profesional.

Así mismo, me gustaría agradecer especialmente a mi familia, a mi hermana Cristina y a mis padres, Isabel y Balbino, pues su apoyo, su motivación y su incondicional confianza en mí han sido imprescindibles para realizar no sólo este Proyecto, sino la carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones. Igualmente, dar gracias a Lion por acompañarme, apoyarme y animarme en esta intensa y larga travesía.

Por último, agradecer a Narcís Cardona, catedrático del Departamento de Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, y a Bernat Josep Quiles Hervàs, Ingeniero de Telecomunicaciones en la red de Vodafone España S.A. por haberme dirigido este Proyecto Final de Carrera.

A todos, de corazón, muchas gracias.

# **CAPÍTULO 1**

## **PRIMEROS SISTEMAS DIGITALES DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR**

---

## 1.1. Evolución del Sector de las Telecomunicaciones

Los principios de las telecomunicaciones utilizando señales de naturaleza eléctrica se remontan al siglo XIX, después de que durante el siglo XVIII se descubriese que la electricidad podía transmitirse (experimentos de Franklin, Coulomb, Volta). Múltiples físicos, matemáticos, ingenieros e inventores realizaron sus experimentos en el campo de las señales eléctricas y el electromagnetismo, y de ellos surgieron los primeros telégrafos, teléfonos, componentes electrónicos, diferentes medios y sistemas de transmisión, etc. hasta llegar a la actualidad.

En la siguiente tabla se recogen algunos de los hitos más importantes ocurridos en el campo de las comunicaciones desde sus inicios:

AÑO	ACONTECIMIENTOS
1729-1800	Se descubre que la electricidad puede ser transmitida. Benjamin Franklin, Coulomb y Volta realizan sus experimentos con la electricidad. Se inventa el telégrafo óptico durante la Revolución Francesa.
1809	Thomas Soemmerring inventa el telégrafo electro-químico en Baviera.
1825	William Sturgeon inventa el electroimán, base para la evolución de las comunicaciones electrónicas a gran escala.
1828	Harrison Dyar inventa el primer telégrafo en los EEUU. El telégrafo eléctrico está considerado el precursor del teléfono.
1830	Joseph Henry utiliza el electroimán para enviar una señal a través de una milla de cable, inventando la telegrafía de hilos.
1833	Primera demostración del código Morse por su creador, Samuel Morse.
1833-1837	Friedrich Gauss y Wilhelm Weber inventan varios telégrafos electromagnéticos.
1840	Primera patente de Morse. Mejora el invento de Joseph Henry e inventa un telégrafo de éxito comercial.
1844	Morse perfecciona su código para telegrafía y recibe financiación para construir una línea de telegrafía experimental desde Washington a Baltimore, y posteriormente para ampliarla a Filadelfia y Nueva York Se empieza a usar el telégrafo en pequeñas empresas.

1849	Se construye la primera línea de larga distancia para transmisión telegráfica entre Frankfurt y Berlín. Parte del cableado bajo tierra y parte aéreo.
1850	Se enlaza Inglaterra y Francia mediante cable marino a través del Canal de la Mancha.
1853	Se inventa el telégrafo por cable con transmisión dúplex.
1858	Comunicación Europa-América gracias al cable submarino (tras un mes falla).
1861	Western Union construye la primera línea telegráfica transcontinental a lo largo de las vías del ferrocarril.
1860-61	Antonio Meucci inventa el teléfono aunque le da el nombre de “teletrófono”, mientras que Philip Reis y Alexander Graham Bell inventan el teléfono. Los años siguientes existirán disputas legales por la autoría de este descubrimiento.  El MIT publica el primer documento sobre la teoría de conmutación de paquetes.
1866	Se establece una conexión permanente Europa-América: telégrafo transatlántico.
1876	Bell patenta el teléfono.
1877	Edison inventa el fonógrafo.  Se instala la primera línea telefónica en Boston.
1878	Se instala la primera central telefónica. La comunicación en este momento se realiza manualmente, mediante operadoras que conectan las llamadas.
1892	Primer intercambio telefónico automático usando marcación sin operadora.
1894-95	Guglielmo Marconi transmite señales inalámbricas a través de una distancia de dos millas. Realiza la transmisión de señales radioeléctricas Morse sin cables, a una milla y media.
1896	Marconi desarrolla comercialmente la radio, aunque el verdadero inventor de la misma fue Tesla.
1898	Marconi inaugura el primer servicio radiotelegráfico regular. Se funda la primera sociedad telegráfica siendo Marconi su director.
1899	Primera comunicación radiotelegráfica entre Francia e Inglaterra (48km).
1901	Primera comunicación telegráfica transoceánica entre gran Bretaña y Canadá.

1903	Primera comunicación con un buque de pasajeros.
1904	John Ambrose Fleming utiliza por primera vez una válvula termoiónica para detectar señales de radio.
1906	Se construye en América el primer sistema para transmisión de voz a través de ondas electromagnéticas. Comienza la era de la electrónica: rectificadores, amplificadores, válvulas...
1907	Fleming perfecciona el diodo termoiónico detector de la radio.
1908	Lee de Forest construye el triodo, lo que permite el desarrollo de amplificadores de radiofrecuencia, osciladores moduladores, etc.
1909	Comunicación automática entre Berlín y Múnich.
1910-1919	Se inventa el tubo de vacío, dispositivo que permite la transmisión de voz a través de largas distancias y varias conversaciones sobre el mismo cable. Nace la transmisión AM. Se realizan transmisiones con grandes antenas de baja frecuencia y elevada potencia. Aparecen las técnicas de ayuda a la navegación, las comunicaciones con submarinos sumergidos, sistemas de control a distancia... Se fabrica el primer oscilador. Se introduce la transmisión automática en telegrafía. Se transmite la palabra por radiotelefonía desde Vermont a Hawái, París y San Francisco.
1916-1924	Nacen las primeras emisoras y programas de radio en distintos países. Se realizan los primeros experimentos en la televisión.
1926	Se descubre la FM, que proporciona alta calidad de sonido para la radiodifusión.
1928	Primera transmisión inalámbrica de imágenes.
1930	Se descubren los semiconductores, se inventa el LED.
1932-1935	Se inventa el RADAR y los primeros cables coaxiales y multipares destinados a comunicaciones.
1936	Primeras transmisiones experimentales de TV electrónica y comienzo de las emisiones regulares de la BBC.
1940	Se instala el primer servicio de radioteléfonos entre Berlín y Nueva York.

<b>1941</b>	Nace la televisión en color.
<b>1944</b>	Se diseña el primer computador programable (MARK1).
<b>1945</b>	Se propone el uso de satélites geoestacionarios para sistemas de comunicaciones de cobertura mundial.
<b>1946</b>	Primera computadora totalmente electrónica.
<b>1948</b>	Se patenta el transistor. Se definen regulaciones telefónicas para uso de los teléfonos de marcación directa antes de la 2ª Guerra Mundial. Nace la cuenta de la duración de una llamada por impulsos.
<b>1955</b>	Primer sistema de marcación telefónica a larga distancia.
<b>1958</b>	Desarrollo del circuito integrado en placas impresas.
<b>Años 60</b>	Se introducen las técnicas digitales (PDH, SDH). Un norteamericano perteneciente a los laboratorios Bell describe y patenta un modo de transferencia no síncrono, lo que es la primera referencia al modo de transferencia ATM.
<b>1968</b>	Nace el FAX, que transmite imágenes a través de líneas telefónicas.
<b>1969</b>	Nace Internet (entonces ARPANET), que funciona sobre la red telefónica conmutada.
<b>1970</b>	Se introduce el uso de del método TDM (Time Division Multiplexing) para el intercambio telefónico. Aparece el concepto de Red Digital Integrada.
<b>1971</b>	Se inventa el microprocesador.
<b>1973</b>	Bob Metcalfe describe el esquema de red Ethernet.
<b>1977</b>	Siemens comienza la producción en masa de centrales telefónicas.
<b>1978</b>	Se pone en operación la primera fibra óptica (Berlín).
<b>1980</b>	Se incrementa la capacidad de almacenamiento en microchips a 64M. Se fabrica el primer computador portátil. Se introduce la tecnología de banda ancha, con anchos de banda de MHz.
<b>1981</b>	Nace NMT (Nordic Mobile Telephone) de Ericsson, funciona en la banda de 450MHz.
<b>1982</b>	Llega NMT a España. Se implementa en EEUU el AMPS (Advanced Mobile Phone System), y su variante europea TACS (Total Access Communication System).

	<p>NMT, AMPS, TACS se consideran la Primera Generación (1G) de la telefonía móvil celular. Son sistemas analógicos.</p> <p>El ETSI establece un patrón común para desarrollar la futura red celular de ámbito europeo: GSM o Groupe Special Mobile.</p>
<b>1983</b>	PCs, discos flexibles y dispositivos de almacenamiento, TCP/IP.
<b>1987</b>	Se introduce TDMA en la tecnología GSM.
<b>1988</b>	<p>18 países firman un acuerdo de intenciones comprometiéndose a adoptar el estándar único GSM, a cumplir sus especificaciones y a ponerlo en marcha comercialmente.</p> <p>El CCITT desarrolla SDH (Jerarquía Digital Síncrona), como evolución de los sistemas de transmisión, consecuencia del uso de fibra óptica como medio de transmisión y la necesidad de mayor flexibilidad y ancho de banda que los preexistentes sistemas PDH.</p> <p>Se populariza ATM (Modo de Transferencia Asíncrono, CCITT), estableciéndose como tecnología de conmutación para futuras redes RDSI de banda ancha, frente a la ampliación de los sistemas síncronos existentes.</p>
<b>1989</b>	<p>Nace la televisión de alta definición. Se desarrolla el primer sistema de comunicaciones RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) en Rotterdam</p> <p>Se integran los protocolos OSI en la arquitectura de Internet, facilitando el uso de distintos protocolos de comunicaciones</p>
<b>1990</b>	<p>Se desarrolla el servicio WWW (World Wide Web) y el software para transmisión de voz telefónica y música de alta calidad a través de Internet</p> <p>Se digitalizan los sistemas de comunicaciones móviles, naciendo la Segunda Generación (2G) de la telefonía móvil</p>
<b>1992</b>	<p>Nace Internet comercialmente, que se privatizará en 1993</p> <p>Empieza a funcionar GSM (Global System for Mobile Communication)</p>
<b>Años 90</b>	Comienza el auge de Internet. Nuevas facilidades de interconexión y herramientas gráficas simples para el uso de la red.
<b>1998-99</b>	<p>Sistemas de redes ópticas pueden transmitir a 3.2 Terabits por segundo</p> <p>Se desarrollan las tecnologías GPRS (2.5G) y EDGE (2.75G), como paso previo al 3G</p> <p>MPLS es estandarizado por el IETF (Internet Engineering Task Force) en</p>

	la RFC 3031
1999-2000	El 3GPP desarrolla las especificaciones de la Tercera Generación de telefonía Móvil. Aparece la primera red 3G UMTS, usando interfaz de aire CDMA (Release 99) y núcleo de red ATM
2001	Nuevo estándar del 3GPP (Release 4) que añade características como una red de núcleo all-IP
2002	Se introduce el IMS (Sistema Multimedia IP) y el HSDPA (Release 5)
2007	Estándar HSPA+, esta versión (R7) se centró en rebajar la latencia, mejorar la Calidad de Servicio y el uso de aplicaciones en tiempo real como por ejemplo la Voz sobre IP (VoIP), mejorar el ancho de banda de los sistemas GSM EDGE (EDGE Evolution), desarrollar el protocolo de comunicación sin contacto (Near Field Communication que permitió a los operadores ofrecer servicios como por ejemplo el pago a través del móvil Mobile Payments)
2008	Primera versión de LTE (Long Term Evolution), lo que es conocido como Cuarta Generación (4G) de la tecnología móvil. Aparece la primera red all-IP (SAE: System Architecture Evolution). Aparece la primera especificación del Dual-Cell HSDPA. Aparecen nuevas interfaces de radio OFDMA, FDE y MIMO
2009	Se introducen mejoras de la red SAE, aparece el WiMAX y la compatibilidad entre redes LTE y UMTS. Se sigue con el desarrollo del Dual-Cell HSDPA con MIMO, y aparece el Dual-Cell HSUPA.
2011	Aparece el LTE Advanced, cumpliendo los requisitos del Avanzado

**Tabla 1: Hitos en la Historia de las Comunicaciones Eléctricas [1]**



- a) Primeras transmisiones de voz y datos: el teléfono, el telégrafo y las comunicaciones radioeléctricas sin cables

Durante la evolución de la transmisión de señales, las comunicaciones de voz y las de texto han sido independientes. Las primeras fueron posibles gracias al teléfono y las segundas gracias al telégrafo, necesitando cada servicio una red diferente que se adecuase a sus características para soportar la transmisión de cada tipo de señal. Las telecomunicaciones de voz y texto (mediante teletipos) fueron los únicos servicios existentes hasta los años 60.

Por otra parte, los orígenes de las primeras comunicaciones radioeléctricas inalámbricas a distancia se remontan a los experimentos que Guglielmo Marconi y otros muchos científicos realizaron a finales del siglo XIX y la primera mitad del XX, y que dieron lugar a la radio, la televisión o las comunicaciones por satélite, entre otros muchos avances. Posteriormente, en los años 40, durante la Segunda Guerra Mundial, nace la idea del teléfono móvil por lo útil que sería para comunicar unidades militares desde cualquier punto, y se comienzan a desarrollar los primeros sistemas de telefonía móvil tanto en el ámbito militar como en el civil. Los primeros aparatos eran caros, grandes y pesados, por lo que era necesario llevarlos en vehículos. También en los 40 nació el concepto de red celular, si bien hasta finales de los 70 no se desarrolló el hardware necesario para implementar sistemas basados en celdas. Las señales utilizadas eran de tipo analógico.

- b) Digitalización de señales: Red Digital Integrada (RDI)

La evolución de las tecnologías en el campo de la electrónica y la aparición de las minicomputadoras en los años 60/70, hizo que se planteara el problema de cómo realizar la comunicación de datos entre distintas computadoras. Esto propició la aparición de las transmisiones digitales frente a la tradicional transmisión analógica existente en la Red Telefónica Conmutada (RTC, RTBC o PSTN en inglés). Puesto que los avances relacionados con la informática y las comunicaciones han ido siempre fuertemente ligados, este hecho fue uno de los detonantes para la evolución de la RTC hacia su digitalización, introduciéndose en 1970 el método TDM (Time Division Multiplexing) para el intercambio telefónico, que permitía enviar varios canales telefónicos sobre el mismo medio.

De esta forma, las centrales telefónicas digitalizadas reemplazaron a las analógicas, lo que permitió ofrecer a los usuarios de la tradicional red telefónica acceso a nuevos servicios, creándose así la Red Digital Integrada (RDI). El hecho de que las señales de voz y datos tuvieran un formato digital común abrió las puertas a la posibilidad de disponer de una única red para el transporte de todo tipo de señales. Dada la gran difusión de las redes telefónicas, que ya prestaban servicio a la mayoría de la población occidental, se pensó en utilizarlas para permitir también la comunicación de datos entre computadoras distantes. En este escenario nace ARPANET (1969), que más adelante se convertirá en Internet; y Ethernet se desarrolla en 1973.

En la Red Digital Integrada se digitalizó la comunicación entre centralitas pero, sin embargo, el bucle de abonado siguió siendo analógico. Esto presentaba múltiples inconvenientes de cara a la transmisión de datos entre computadoras, que al generar datos digitales necesitaban de módems que hicieran la conversión digital-analógica al enviar datos, y analógica-digital al recibirlos desde la red telefónica. Además, la red telefónica estaba diseñada para transportar señales analógicas dentro del ancho de banda de la voz humana, lo que suponía una gran limitación a la velocidad de transmisión de las computadoras, que tenía que realizarse dentro de ese rango de frecuencias.

- c) Desarrollo de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI). Se extiende la Jerarquía digital Plesiócrona (PDH).

A los problemas asociados a los sistemas analógicos hay que añadir el abaratamiento de los equipos digitales que se produjo, lo que propició la evolución de la RDI hacia la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), definida por la UIT-T (CCITT) en 1988. En esta evolución se digitalizó el bucle de abonado, por lo que se ofrecía conexión digital extremo a extremo. De esta manera se extiende por Europa la RDSI, integrando voz y datos digitalizados en una misma línea y añadiendo, además, características que no estaban disponibles en el tradicional sistema telefónico.

Como definición, se puede decir que la RDSI es una red que procede por evolución de la red telefónica existente, que al ofrecer conexiones digitales extremo a extremo permite la integración de multitud de servicios en un único acceso,

independientemente de la naturaleza de la información a transmitir y del equipo terminal que la genere.

Ante la proliferación de equipos de distintos fabricantes se hizo necesario definir normas a la hora de establecer la conexión entre dichos equipos y la red RDSI. De esta forma, en España se decidió adoptar para la transmisión digital de señales la preexistente tecnología PDH europea (Jerarquía Digital Plesiócrona), normalizada por la UIT-T en la norma G.732 y que era utilizada tradicionalmente en telefonía para transportar múltiples canales telefónicos multiplexados sobre un mismo medio (coaxial, radio o microondas), mediante multiplexación por división en el tiempo (TDM).

#### d) Primera Generación de la telefonía móvil (1G)

No fue hasta los años 80 cuando se fabricó y comercializó el primer teléfono móvil portátil de un tamaño asequible para ser transportado por una persona (el modelo Dina TAC 8000X de Motorola), y se desarrolló la telefonía móvil celular como hoy la conocemos.

Por lo tanto, en los años 80 se crearon varios sistemas celulares con el objetivo de transmitir voz utilizando para ello señales analógicas (de igual forma que el bucle de abonado en la RDI existente en ese momento era analógico). Esos sistemas fueron considerados como la Primera Generación de la telefonía móvil. En esta generación se adoptó la técnica de acceso FDMA/FDD, es decir, que utilizaba el Acceso Múltiple por División de Frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación en transmisión y recepción.

En 1981 comienza a operar en países del norte de Europa el NMT (Nordic Mobile Telephone System) de Ericsson a 450MHz, que llega a España en 1982. En ese mismo año, en Norteamérica se desarrolla el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System), mientras que Gran Bretaña adopta una variante de éste llamada TACS (Total Access Communication System) que funciona a 900MHz.

Estas redes de Primera Generación eran capaces de ofrecer únicamente servicio de voz y además presentaban varios inconvenientes: por una parte, los problemas asociados a las comunicaciones analógicas como son falta de seguridad en las

transmisiones o baja calidad de las señales, por otra, la inexistencia de un estándar único que sirviese a los proveedores como norma y la consiguiente incompatibilidad de equipos según país o fabricante; por último, la baja capacidad de usuarios simultáneos soportada debido a la técnica de acceso al medio FDMA/FDD.

Todo esto propició e impulsó el desarrollo del estándar GSM para las comunicaciones móviles. En 1982, cuando aparecieron los primeros servicios celulares comerciales, la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) tomó la iniciativa de poner en marcha un grupo de trabajo llamado Groupe Spécial Mobile (GSM), que sería el encargado de especificar un sistema de comunicaciones móviles común para Europa en la banda de 900 MHz, que constituiría (junto con otros sistemas) la llamada Segunda Generación de la telefonía móvil.

e) Auge de las Telecomunicaciones e Internet. Tecnologías de Banda Ancha.

Por otra parte, casi simultáneamente surgieron los estándares ATM y SDH, que se comenzaron a vislumbrar como las tecnologías de banda ancha o "superautopistas de comunicaciones" como las llamaron en EEUU. A ellas hay que añadir el desarrollo del protocolo IP, orientado en sus principios casi exclusivamente a la transmisión de datos por la red de transporte. Comienzan a aparecer las aplicaciones multimedia y prolifera la tecnología sin hilos gracias a las redes GSM y la utilización de satélites para la difusión de todo tipo de información.

Las centrales telefónicas digitalizadas permiten ofrecer al usuario acceso a nuevos servicios, proporcionados por la red inteligente. Por otra parte, con la digitalización de la red, la incorporación de técnicas de conmutación (como ATM) y la disponibilidad de un ancho de banda casi sin límites, la distinción entre tipos de tráfico se complica, al tratarse todos de la misma forma. Veremos más adelante que habrá que buscar fórmulas para dotar a cada tipo de tráfico de cierta prioridad si queremos asegurar que se cumple un determinado nivel de Calidad de Servicio (QoS).

Como es de esperar, en el entorno privado es donde primero se utilizan las tecnologías que surgen, pues es mucho más fácil de manejar un entorno privado y reducido, que uno público y extenso, donde todos los usuarios han de disponer del mismo servicio. En entornos privados, como puede ser el de una operadora de telefonía

móvil, la rapidez con la que se implante una nueva y más avanzada tecnología que permita dar un mejor servicio a los clientes, marcará la diferencia entre esa empresa y su competencia. Sin embargo, atravesamos una época de cambios continuos, en la que con mucha frecuencia aparecen nuevas tecnologías y soluciones a los mismos problemas, cada una de ellas superando a las anteriores y por tanto esperando sustituirlas. Mientras que en el campo de la informática esto no supone mayor problema, pues se trata de equipos aislados compatibles entre sí y que pueden ser reemplazados en cualquier momento, en el caso de las redes la evolución no es tan simple, pues no puede cambiarse una red por otra de la noche a la mañana, sino que debe hacerse de manera gradual, siendo el coste de dicho cambio suele muy elevado.

La elección de la tecnología adecuada, capaz de satisfacer las necesidades presentes y futuras, es por tanto un factor clave para obtener la competitividad deseada, manteniendo a su vez los costes dentro de unos márgenes establecidos. De esta manera, hace años se llegó a la conclusión de que la mejor solución para redes de área extensa era la tecnología de conmutación de paquetes, por su estabilidad y flexibilidad ante cambios, si bien es necesario de vez en cuando "rejuvenecerla".

La popularidad de Internet y la proliferación de diversas aplicaciones de todo tipo para los usuarios de las redes, así como los avances en los dispositivos terminales móviles, ha marcado las nuevas implementaciones y estándares para las redes. Estas novedades producidas desde el comienzo de la telefonía móvil en los años 80, y la forma en la que los proveedores de servicios han ido adaptando sus redes de transporte para afrontarlas, son los temas de interés en este Proyecto. Por este motivo, los eventos ocurridos en este campo desde la llegada de las redes de Segunda Generación se van a desarrollar con mayor profundidad durante los siguientes apartados y capítulos.

## 1.2. Telefonía Móvil Celular Digital de Segunda Generación: GSM

### 1.2.1. De la 1G analógica a la 2G digital

La primera generación (1G) de la telefonía móvil estaba basada en sistemas analógicos como NMT (Nordic Mobile Telephony), AMPS (Advanced Mobile Phone System) o TACS (Total Access Communication System).

Los protocolos digitales que surgieron tras los analógicos se consideraron como la Segunda Generación. Por lo tanto, 2G no es un estándar o un protocolo, sino que es una forma de distinguir los nuevos protocolos de los sistemas móviles digitales de los anteriores sistemas analógicos. Es decir, 2G marcó el cambio entre la telefonía móvil analógica y la digital.

Algunas de las ventajas que introdujeron las tecnologías 2G respecto a las 1G fueron las siguientes:

- **Mayor calidad** en las transmisiones de voz al incorporarse modulaciones digitales que permiten trabajar con mejores relaciones señal a ruido, códigos de detección y corrección de errores, técnicas de ecualización... todo ello permite además una mayor densidad de tráfico con el mismo ancho de banda.
- Capacidad de soportar **más usuarios simultáneos** gracias a las técnicas de acceso múltiple (TDMA) introducidas, que permiten que un mismo radiocanal pueda ser utilizado por varios usuarios en intervalos de tiempo distintos. **Mayor eficiencia espectral.**
- Absoluta **confidencialidad** de las comunicaciones de voz al hacer uso de técnicas de cifrado digitales.
- Se introduce la posibilidad de enviar mensajes alfanuméricos de hasta 160 caracteres desde el dispositivo móvil: **SMS** (Short Message Service).
- Posibilidad de navegar por Internet mediante Wireless Access Protocol (**WAP**).
- Al manejar datos digitales se posibilitaba la interconexión de la red móvil con la red fija (como RDSI).

En Europa, los múltiples inconvenientes que presentaban los sistemas analógicos y la existencia de tantos estándares diferentes, provocando que los proveedores europeos sufrieran las consecuencias de una diversidad de normas incompatibles entre sí, propició la decisión de desarrollar un único estándar a nivel europeo. Así se desarrolló el estándar o protocolo GSM (Global System for Mobile Communications).

En Norteamérica también se planteó la creación de un nuevo estándar digital, cuyo objetivo principal fue aumentar la capacidad dentro de la banda de 800 MHz existente, garantizando que los teléfonos móviles pudiesen funcionar tanto con los canales analógicos existentes como con los nuevos canales digitales (Modo Dual). Se empleó el término Digital AMPS (D-AMPS) o ADC (American Digital Cellular) que se refiere a IS-54B, y que define una interfaz digital con componentes heredados de AMPS. La especificación IS-36 es una evolución completamente digital de D-AMPS.

A principios de la década de los 90, también apareció un nuevo estándar que utilizaba el método de acceso CDMA (Code Division Multiple Access). El estándar CDMAOne o IS-95, fue una tecnología desarrollada por Qualcomm y consiste en que todos usan la misma frecuencia al mismo tiempo separándose las conversaciones mediante códigos.

En Japón se creó el estándar JDC (Japanese Digital Cellular).

Pese a que cada estándar se desarrolló por un organismo y en una región diferente, lo que todos ellos tenían en común era su intención de abordar la falta de capacidad en los sistemas analógicos, y que los nuevos sistemas serían digitales y con acceso TDMA.

### **1.2.2. GSM: Global System for Mobile Communication**

Con el objetivo crear un único estándar 2G europeo se estableció el GSM (Groupe Spécial Mobile). Este grupo creado por iniciativa de la CEPT (Conférence Européene des Postes et Télécommunications) tuvo como objetivo desarrollar las especificaciones de un sistema de comunicaciones móviles común para Europa que funcionase en la banda de 900MHz. El aspecto más destacado es que en este estándar,

siguiendo la tendencia hacia la digitalización comenzada en redes fijas, se introdujo la transmisión de señales digitales en lugar de las analógicas de la 1G.

GSM comenzó como una norma a nivel europeo para unificar sistemas móviles digitales y se diseñó para sustituir a más de diez sistemas analógicos en uso, que en la mayoría de los casos eran incompatibles entre sí. Después de las pruebas de campo realizadas en Francia de 1986 y de la elección del método de acceso Time Division Multiple Access (TDMA) en 1987, 18 países firmaron en 1988 un acuerdo de intenciones (MOU: Memorandum of Understanding). En este documento los países firmantes se comprometían a cumplir las especificaciones, a adoptar este estándar único y a poner en marcha un servicio comercial GSM, que ofreciera seguimiento automático de los teléfonos móviles en su desplazamiento por todos los países. Conforme se desarrolló, GSM mantuvo el acrónimo, aunque en la actualidad signifique Global System for Mobile Communications [2].

Las especificaciones para el estándar GSM-900 se terminaron en 1989, en 1991 comenzaron a funcionar las primeras redes GSM europeas y en 1993 se lanzaron comercialmente los primeros modelos de teléfonos móviles GSM realmente portátiles. En 1994, sólo dos años después de su puesta en funcionamiento, el número de usuarios de GSM alcanzó el millón. Los últimos datos (obtenidos en 2008) hablan de tres mil millones de usuarios de esta tecnología en el mundo [3].

Hoy en día el estándar GSM está funcionando con éxito tanto en países europeos como en otros en el resto del mundo (en 1993 existían ya más de 36 redes GSM en servicio en 22 países, y más de 25 países no europeos habían adoptado el estándar o lo estaban considerando).

Un año después de salir el estándar GSM-900 se definió el estándar GSM-1800 o DCS (Digital Cellular Service), que es una variante de GSM que funciona en la banda de 1800Hz. Al tener más canales, DCS ofrece un mayor ancho de banda, a costa de que por funcionar a una frecuencia mayor, el alcance y la penetración en edificios sea algo menor que en la banda de 900MHz.



### **1.2.3. Servicios soportados por GSM**

El estándar GSM se desarrolló incluyendo todos los servicios disponibles en la RDSI, aunque dadas las limitaciones del interfaz radio en cuanto a velocidad de transmisión de datos y tasa de errores, algunos servicios presentan limitaciones.

Los servicios que se ofrecen son:

- Telefonía de alta calidad. Es el servicio más importante y principal del sistema GSM, permitiendo llamadas tanto móvil-móvil como móvil-fijo (red móvil-PSTN). También se permiten llamadas de emergencia al 112, y se incluyen servicios como desvío de llamadas, llamada restringida o identificación del abonado llamante.
- Fax de Grupo 3, siempre que se disponga de los adaptadores de interfaz correspondientes.
- Correo electrónico, en forma de mensajes cortos de 160 caracteres alfanuméricos como máximo, llamados SMS (Short Message Service). Pueden enviarse en modo punto a punto o multidifusión.

Las velocidades soportadas en los servicios de datos van desde los 300bps a los 9.6kbps.

Por último, GSM ofrece protección frente a la utilización fraudulenta del canal mediante tres mecanismos: autenticación gracias a las tarjetas SIM de los usuarios registrados en el sistema, cifrado de la transmisión radio de voz y datos para evitar escuchas y protección de la identidad del abonado.

### **1.2.4. Arquitectura de la red GSM**

Las principales unidades funcionales e interfaces que componen la arquitectura de un sistema GSM se pueden ver en el siguiente esquema:

La red se compone de la Estación Móvil (MS) o terminal de usuario junto con la SIM, el Subsistema de Estaciones Base (BSS) y el Subsistema de Red y Conmutación (NSS). También podríamos dividirla en Red de Acceso (BSS) y Red Troncal (NSS).

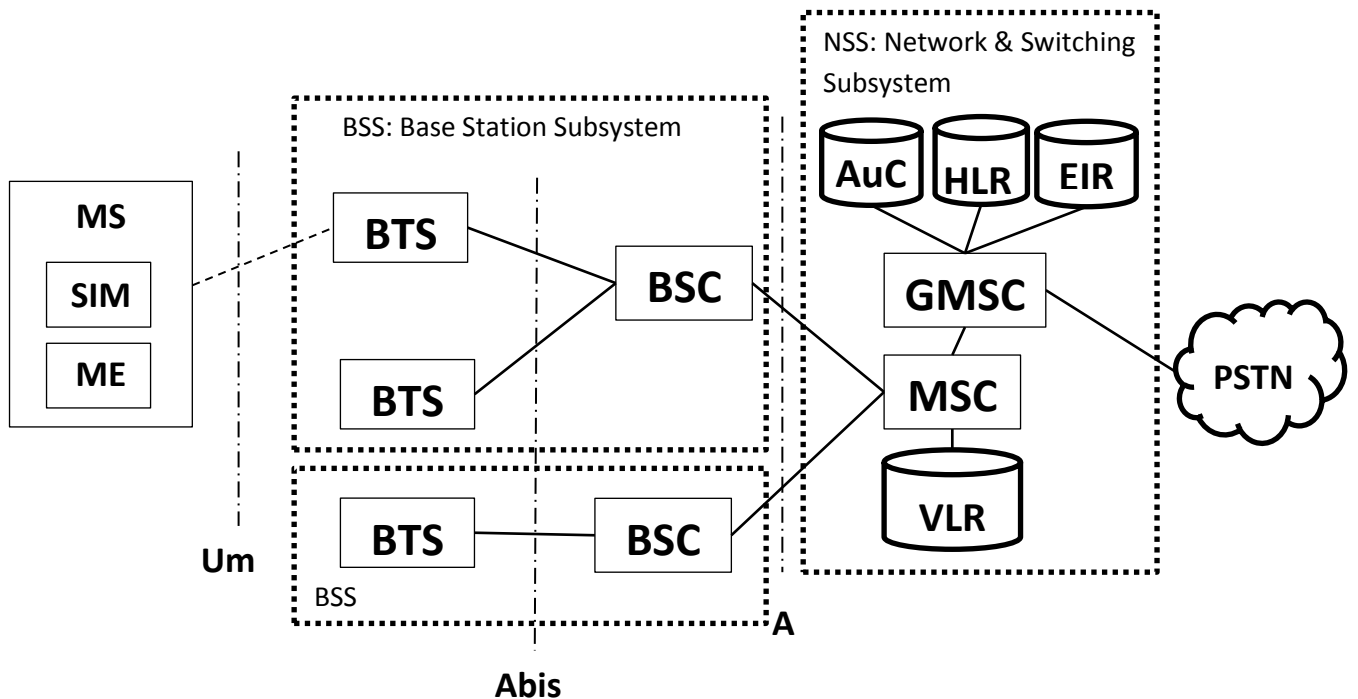


Figura 1: Arquitectura GSM. Unidades funcionales e interfaces.

### 1.2.4.1. Subsistemas y Elementos GSM

#### 1.2.4.1.1. Estación Móvil (MS: Mobile Station)

Es el teléfono móvil utilizado por el usuario para acceder a la red. Podría subdividirse, a su vez, en la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y el Mobile Equipment que básicamente es el dispositivo de usuario.

La tarjeta SIM es una tarjeta inteligente desmontable donde se almacena de forma segura la información de suscripción del usuario necesaria para identificarse en la red, parámetros de red y directorio telefónico. Esto permite al usuario cambiar de dispositivo manteniendo su información.

### 1.2.4.1.2. Subsistema de Estaciones Base (BSS) / Red de Acceso

El conjunto de BSS en una red también se denomina Red de Acceso, pues su función es proporcionar y controlar el acceso de los terminales al espectro disponible, así como de realizar el envío y recepción de los datos MS – BTS – BSC. Está compuesto por los siguientes elementos:

- **Estación Base (BTS: Base Transceiver Station)**

Es el elemento de la red que se encarga de realizar la conexión con el teléfono móvil. Existe una BTS en cada celda de la red celular. Tiene otras funciones, como realizar el mapeo entre los timeslots del interfaz Um y los del interfaz Abis.

- **Controladora de Estaciones Base (BSC: Base Station Controller)**

La BSC es el equipo encargado de controlar múltiples Estaciones Base. Lo habitual dado el elevado número de BTSs existentes en una determinada región es que sean necesarias varias BSCs para controlarlas, estableciéndose fronteras en el territorio de manera que las BTSs dentro de cada subregión sean controladas por una BSC diferente. Dicho de otra forma, cada BSC controlaría las BTSs ubicadas dentro de su área de influencia.

Cada subconjunto de BTSs junto a su BSC constituyen un Subsistema de Estaciones Base (BSS) diferente.

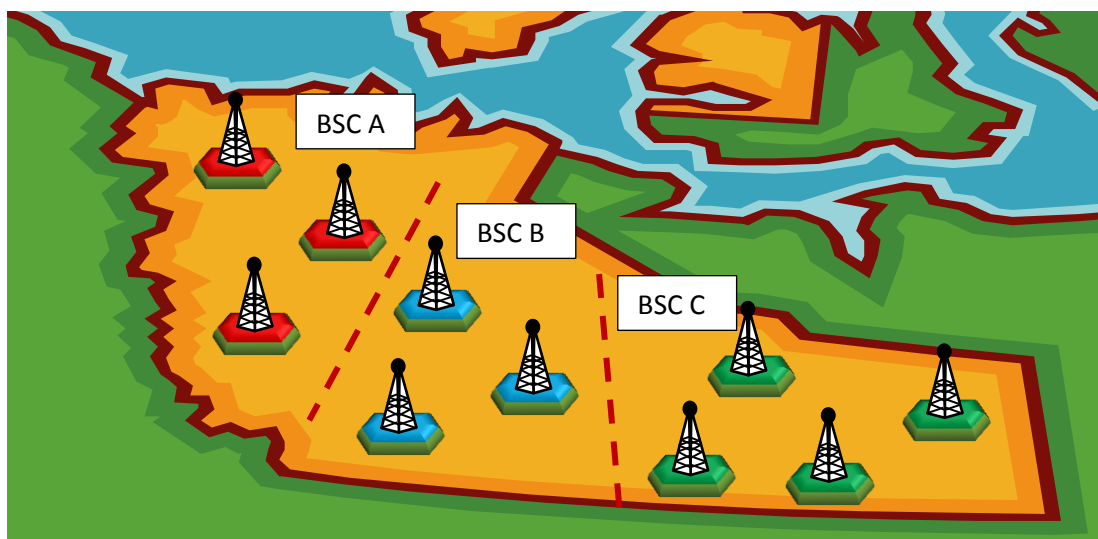


Figura 2: Esquema del reparto territorial de BTS a varias BSC

Por otra parte, en este Proyecto se va a subdividir la red de acceso en dos partes:

- **Red de Acceso Radio:** es la sección donde se realiza el envío de datos y el acceso del MS a la red a través del interfaz aire Um, es decir, el interfaz entre el teléfono móvil y la Estación Base.

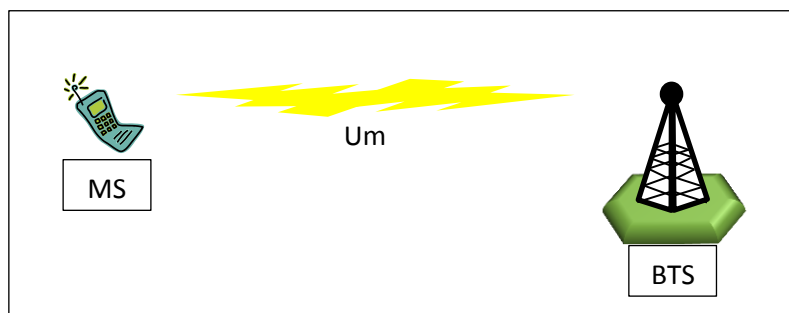


Figura 3: Red de Acceso Radio - Interfaz Um

- **Red de Transmisión de Acceso:** es la sección comprendida desde la Estación Base hasta la BSC (Interfaz A-bis), cuya función es realizar el transporte de la información (voz, datos, gestión, señalización) entre ambos elementos. En el presente Proyecto Final de Carrera esta parte es la de mayor interés y por ello la estudiaremos con mayor detalle en apartados posteriores.

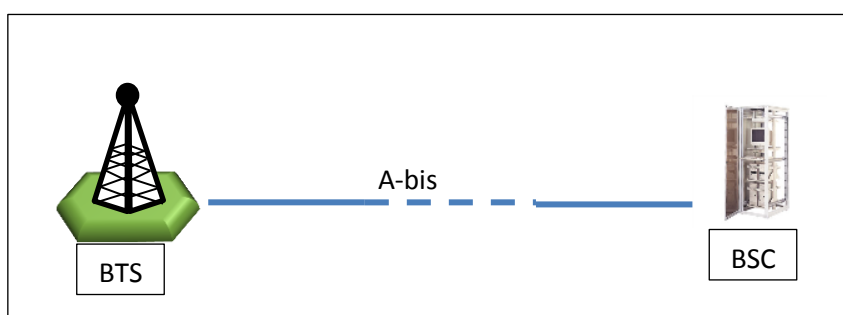


Figura 4: Red de Transmisión de Acceso - Interfaz A-bis

#### 1.2.4.1.3. Subsistema de Conmutación de Red (NSS) / Red Troncal

Este subsistema es el que realiza las funciones de portar y administrar las comunicaciones entre teléfonos móviles y la Red de Telefonía Pública Conmutada

(PSTN) en una red GSM. Su mantenimiento es realizado por los operadores de telefonía móvil y permite a los teléfonos móviles establecer comunicación de unos a otros dentro y/o fuera de su propia red. Su arquitectura tecnológica está muy relacionada con las centrales telefónicas tradicionales de la red fija, sin embargo, son necesarias funciones adicionales ya que los teléfonos no se encuentran fijos en una única ubicación.

- **MSC (Mobile Switching Center). Centro de Conmutación.**

Es el sistema encargado de realizar el control de las llamadas (establecimiento, encaminamiento, control y terminación) a través de las BSCs y BTSs correspondientes hasta el usuario llamado. Es similar a una centralita telefónica de red fija, aunque como los usuarios pueden moverse dentro de la red realiza más actualizaciones en su base de datos interna. Además de transmisión de voz, también proporciona datos y servicios de fax así como Servicios de Mensajes Cortos o SMS y desvío de llamadas.

Cada MSC controla las BSCs de su área de influencia. Además, debe tener acceso tanto al VLR así como a los HLRs de los distintos operadores e interconexión con las redes de telefonía de otros operadores.

- **GMSC (Gateway MSC)**

La GMSC es una pasarela que permite la interconexión de la red de telefonía móvil con la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN), es decir, es una MSC interfaz entre ambas redes. Todas las llamadas Móvil - Móvil y PSTN - Móvil son enrutadas a través de este equipo.

- **HLR (Home Location Register)**

El HLR es una base de datos que contiene información permanente de todos los clientes que pertenecen a la red, su posición, si están conectados o no, y las características de su abono (servicios que puede y no puede usar, tipo de terminal, etc.). Cada número de teléfono móvil está adscrito a un HLR determinado y único, que administra su operador móvil.

Al recibir una llamada, el MSC pregunta al HLR correspondiente al número llamado si está disponible y dónde está (es decir, a qué BSC hay que pedir que le avise) y enruta la llamada o da un mensaje de error.

- **VLR (Visitor Location Register)**

El VLR es una base de datos que contiene información necesaria para la MSC sobre los servicios permitidos y el área de localización de los clientes que visitan la red cubierta por la MSC. Es una base de datos más volátil que HLR que almacena, para el área cubierta por un MSC, los identificativos, permisos, tipos de abono y localizaciones en la red de todos los usuarios activos en ese momento y en ese tramo de la red. Cuando un usuario se registra en la red, el VLR del tramo al que está conectado el usuario se pone en contacto con el HLR de origen del usuario y verifica si puede o no hacer llamadas según su tipo de abono. Esta información permanece almacenada en el VLR mientras el terminal de usuario está encendido y se refresca periódicamente para evitar fraudes.

Los distintos VLRs y HLRs de los diferentes operadores deben estar interconectados entre sí para que los usuarios de redes móviles puedan utilizar los servicios, incluso aunque se encuentren en el extranjero (siempre que exista red GSM en la región donde se encuentren). Para este fin existen protocolos de red especiales, como SS7 o IS-41; los operadores deciden qué estándar escoger en sus acuerdos bilaterales de *roaming* (itinerancia) e interconexión.

- **EIR (Equipment Identity Register)**

El Registro de Identificación de Equipo guarda listas de permiso de acceso al terminal, al que identifica unívocamente mediante su número de serie o IMEI, para evitar que los terminales robados y denunciados puedan acceder a la red [4].

- **AUC (Authentication Center)**

El Centro de Autenticación del Usuario contiene las claves individuales de identificación de cada cliente (IMSI y Ki) y proporciona al HLR los parámetros de autenticación y las claves de cifrado para los sistemas de seguridad.

- **Otros**

Los SMSCs o Centros de Mensajes Cortos y varios sistemas más, entre los que se incluyen los de gestión, mantenimiento, prueba, tarificación y el conjunto de transcodificadores necesarios para poder transferir las llamadas entre los diferentes tipos de red (fija y diferentes estándares de móvil) [4].

#### **1.2.4.1.4. Subsistema de Soporte a las Operaciones (OSS)**

El OSS, Operational Support Subsystem, está formado por los siguientes subsistemas.

- OMC, Operation and Maintenance Center
- NMC, Network Management Center
- SMC, Supervision Management Center

No vamos a entrar más en detalle sobre estos elementos, pues quedan fuera del interés de este Proyecto.

#### **1.2.4.2. Interfaces**

##### **1.2.4.2.1. Interfaz Um**

El interfaz Um es aquél que une la MS con la BTS, es decir, el dispositivo de usuario con la Estación Base correspondiente, y por lo tanto el medio de transmisión se basa en señales radioeléctricas a través del aire. Este interfaz está definido en las tres capas más bajas del modelo OSI: nivel físico, nivel de enlace de datos y nivel de red.

- NIVEL FÍSICO GSM

Dado que GSM se pensó para comunicaciones de voz principalmente, éstas realizan conexiones mediante conmutación de circuitos a través de la red, utilizando como método de acceso al medio la técnica TDMA, heredada de la red RDSI existente en el momento del desarrollo de este estándar.

En realidad, la técnica de acceso es TDMA/FDMA – FDD. Esto quiere decir que, primero, el espectro total disponible se divide en dos partes de igual ancho de banda, una parte será para transmisión downlink y la otra para uplink (duplexión FDD); posteriormente, cada parte se divide en canales de igual ancho de banda (en GSM son de 200KHz) con una determinada frecuencia portadora, de manera que un “radiocanal” está constituido por dos portadoras, una UL y otra DL. Finalmente, sobre cada portadora se multiplexan en el tiempo 8 canales de tráfico (timeslots).

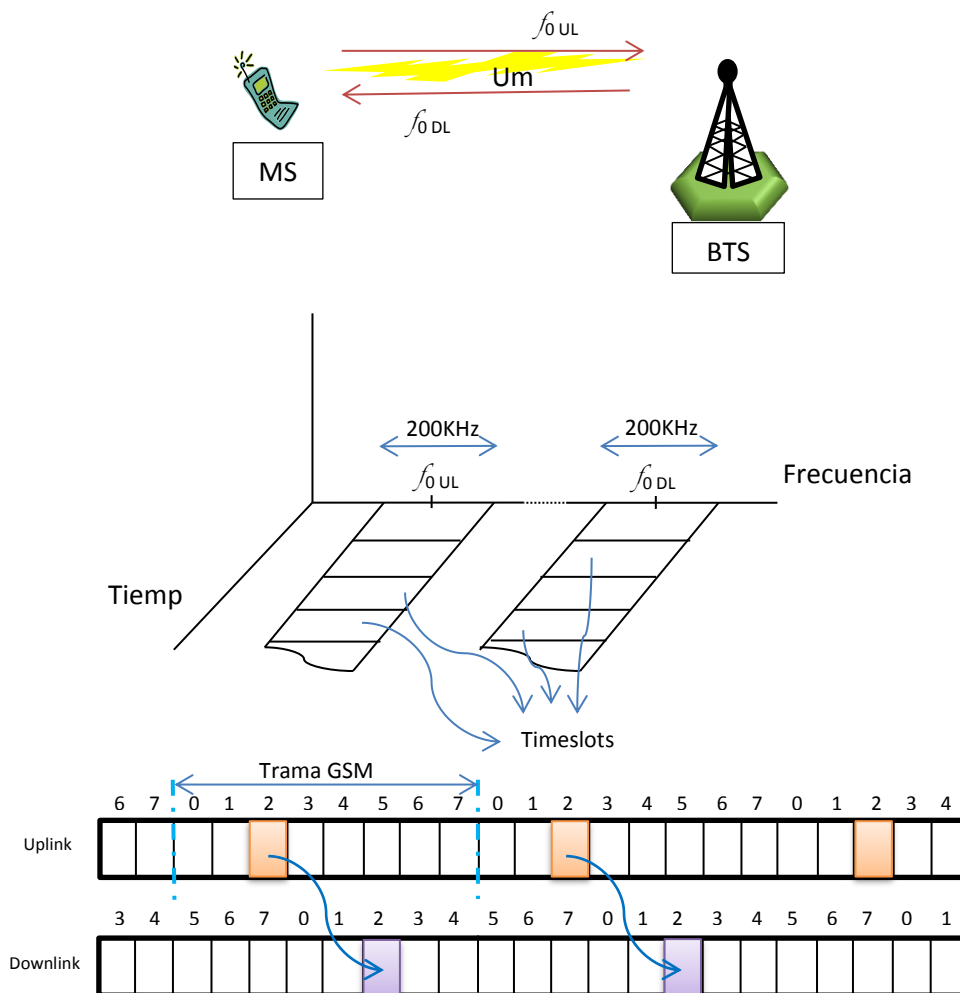


Figura 5: Esquema de la técnica de acceso al canal FDMA/TDMA-FDD y timeslots por trama GSM



1 Radiocanal =	Portadora Uplink + Portadora Downlink
1 Canal Físico =	Radiocanal + Timeslot

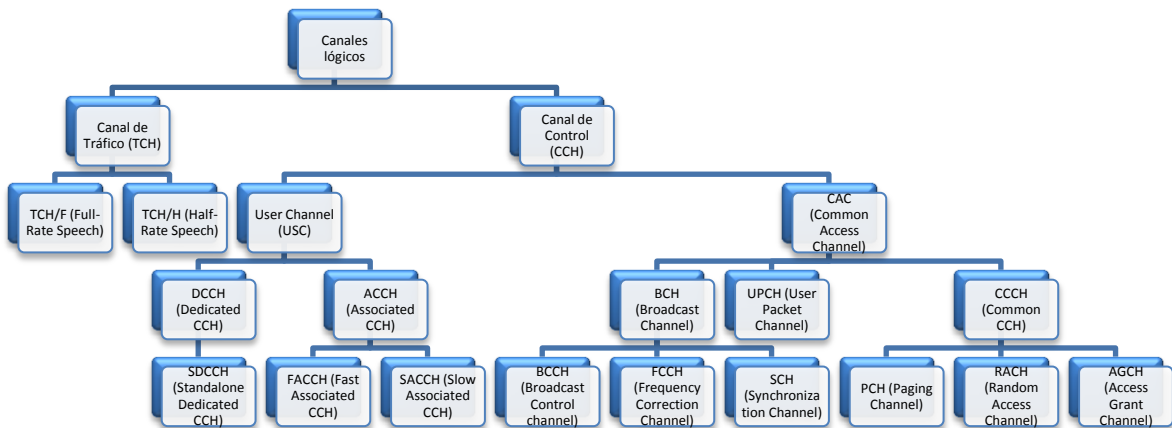
En la figura superior se puede apreciar esquemáticamente la técnica de acceso FDMA/TDMA-FDD utilizada por GSM, donde  $f_{0\text{ UL}}$  y  $f_{0\text{ DL}}$  son las frecuencias centrales de un determinado radiocanal para su transmisión Uplink y Downlink, y la transmisión sobre éstas se divide en tramas de 8 timeslots (numerados de 0 a 7).

Cada terminal de usuario está autorizado a usar una determinada portadora en determinadas ranuras de tiempo, es decir, sólo puede transmitir voz en su slot asignado (transmisión a ráfagas (bursts)). Esto constituye un canal físico (radiocanal + slot) y, por tanto, disponemos de 8 canales físicos por portadora (u 8 usuarios por portadora). Además, existe un desfase de 3 timeslots entre el canal UL y el DL para evitar el uso de duplexor.

La duración de cada timeslot es de  $577\mu\text{s}$ , por lo que la duración total de una trama es  $4.615\text{ms}$ . Por otra parte, en cada timeslot se transmiten 148bits junto con una banda de guarda (normalmente de 8.25bits), que da una velocidad de transmisión de trama de 270kbps; sin embargo, en cada burst normal sólo 114bits de esos 148 transportan información de usuario, lo que nos da una velocidad aproximada de 22.8kbps. Esto significa que cada terminal móvil conectado puede generar hasta 22.8kbps para que puedan transmitirse por el canal, lo que equivale a las siguientes tasas antes de pasar por el codificador de canal:

- Canales de Voz
  - TCH/Full-Rate Speech: 13kbps
  - TCH/Half-Rate Speech: 6.5kbps
- Canales de Datos
  - TCH/F 9.6, 4.8, 2.4 kbps
  - TCH/H 4.8, 2.4 kbps

El número límite de portadoras disponibles por celda dependerá del plan de frecuencias del operador y del hardware utilizado con sus limitaciones físicas.

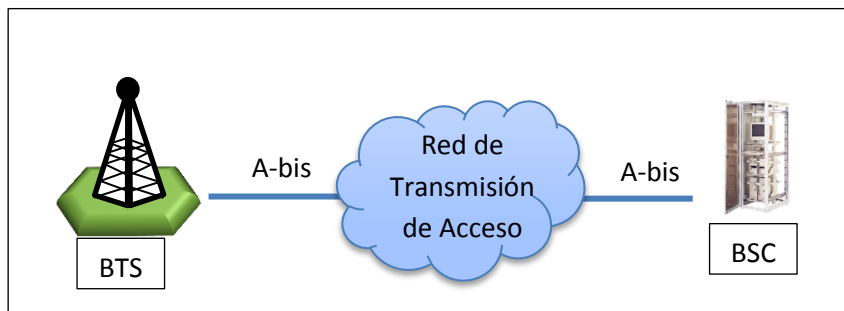


**Figura 6: Jerarquía de Canales Lógicos GSM**

Por otra parte, los canales lógicos estarían constituidos por la información que transportan los canales físicos, y pueden ser básicamente de dos tipos:

- Canales de Tráfico (TCH), que transportan la información de usuario ya sea voz o datos
- Canales de Control (CCH), que transportan información necesaria para realizar la gestión de la red, tareas de mantenimiento, etc. Hay múltiples tipos de canales de control.

#### 1.2.4.2.2. Interfaz Abis



**Figura 7: Interfaz Abis - Red de Transmisión de Acceso**

Se denomina interfaz Abis a aquél existente entre una Estación Base y su BSC correspondiente. Sin embargo, a diferencia del interfaz Um que se trata de una conexión directa a través de ondas radioeléctricas por el aire, el interfaz Abis es mucho más complejo y nunca es una conexión directa entre ambos equipos.

Habitualmente son cientos de Estaciones Base las que se controlan por una única BSC. Las BSCs suelen situarse en centros de conmutación de la operadora, mientras que las BTS se reparten por todo el territorio al que se quiere dar cobertura. Esto quiere decir que en muchos casos existen grandes distancias entre unas y otras, lo que requiere el despliegue de una red de transporte/transmisión de área extensa (WAN) que una cada BTS con su BSC correspondiente. A esta red que se extiende desde las BTS hasta las BSCs la llamamos red de transmisión de acceso y, al ser el objeto de interés de este proyecto, se desarrollará más en profundidad más adelante.

Este interfaz también está definido mediante las tres capas inferiores del modelo OSI.

La información generada por los terminales de usuario llega a través del interfaz Um hasta la BTS, que la convierte a señales TDM, normalmente a circuitos E1 (completos o varios timeslots de 64kbps), y las envía hacia la BSC por el interfaz Abis. Este interfaz, además, utiliza el protocolo LAPD (igual que era en la RDSI) para llevar la señalización y supervisión de la BTS, y lleva la señal de sincronización desde la BSC a las MS (Mobile Stations). Cada E1 es repartido por la cantidad de Transmisores (comúnmente llamados TRX) de cada BTS, siendo habitual que sean entre 10 y 14 TRX los que se mapean en los timeslots del E1 a la salida de la BTS.

#### **1.2.4.2.3. Interfaz A**

Mediante el interfaz A se interconectan las BSCs a la MSC, o lo que es lo mismo, los Subsistemas de Estaciones Base (BSS) al Subsistema de conmutación de Red (NSS). También podríamos decir que este interfaz une la red de acceso con la red troncal.

Este interfaz utiliza el Sistema de Señalización Número 7 (SSN 7) y también transporta canales de tráfico entre ambos elementos.

A través de este interfaz se realiza intercambio de información relacionada con las siguientes funciones:

- Gestión del BSS.
- Manejo de la llamada.
- Gestión de la movilidad.

## **CAPÍTULO 2**

### **RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO GSM: TECNOLOGÍAS, TOPOLOGÍA Y ELEMENTOS CONSTITUYENTES**

---

## **2.1. Red de Transmisión TDM**

Se ha mencionado en el capítulo anterior el papel que juega la Red de Transmisión que forma parte de la red de acceso. Su principal función es transportar la información de los usuarios desde que se recoge en las BTS hasta las BSCs correspondientes, y viceversa. También debe transportar la información de gestión, señalización y sincronización necesarias para el correcto funcionamiento y monitorización, tanto de la propia red de transporte, como de las BTS y MS.

Esta red está compuesta de diversos tipos de elementos: radioenlaces, multiplexores, demultiplexores, equipos con los puertos necesarios para su interconexión, cables de varios tipos, etc. encargados de crear una ruta para los datos desde cada BTS hasta su BSC. También son necesarios otros equipos para el funcionamiento y mantenimiento de los anteriores: torres, antenas, fuentes de alimentación, equipos de refrigeración, repartidores, disyuntores de alimentación, tomas a tierra...

### **2.1.1. Elección de las Tecnologías de Transmisión**

En 1994 se produjo la liberalización del mercado de la telefonía móvil en España. En ese momento Airtel Móvil S.A (actualmente Vodafone) se hizo con una licencia para operar en la banda de GSM. Sin embargo, a diferencia de Telefónica, operadora que había tenido el monopolio de la telefonía hasta la fecha y que tenía ya una red consolidada y en funcionamiento en prácticamente todo el territorio nacional que podría dar soporte a su red móvil, Airtel debía construir la red desde cero.

Lo primero que hay que preguntarse a la hora de comenzar el despliegue de una red de transmisión es qué tecnología/s utilizar para el transporte de la información, que dependerá básicamente de la naturaleza de dicha información y de los equipos disponibles en el mercado en el momento de realizar el despliegue.

Por una parte, cuando en España se comenzaron a desplegar las primeras redes móviles (1995), el estándar más moderno existente en telefonía móvil era el GSM. Éste se había desarrollado durante los años 80 incluyendo los servicios disponibles en la Red

Digital de Servicios Integrados, es decir, estaba pensado para ofrecer comunicaciones que principalmente serían de voz y en menor proporción datos de baja velocidad (como SMS, Fax de Grupo 3, navegación mediante WAP). La tecnología utilizada en telefonía digital fija en ese momento era TDM y, además, como se ha visto, el interfaz radio GSM entre MS y BTS también utiliza Multiplexación por división en el tiempo como técnica para que los usuarios accedan a la red.

Por lo tanto, las primeras redes de transmisión estaban diseñadas para tráfico telefónico (voz), es decir, para transportar servicios de ancho de banda pequeño que además, al sumarse, tienen unos patrones estadísticos bastante predecibles. En este escenario se introdujo PDH, que reducía costes a la vez que proporcionaba mayor ancho de banda al multiplexar varios canales sobre los mismos sistemas de cableado existentes para la transmisión analógica. Sin embargo, las redes PDH presentan una estructura muy rígida (jerarquía), costosa de mantener y con un rendimiento incierto, sobre todo de cara a soportar los nuevos tipos de tráfico y la flexibilidad que demandaría el mercado en el futuro. Por si fuera poco, PDH además presentaba el inconveniente de la inexistencia de un único estándar a nivel global.

Por este motivo, el CCITT estableció mediante nuevas recomendaciones (G.707, G.708, G.709 entre otras) la llamada Jerarquía Digital Síncrona (o SDH por sus siglas en inglés -Synchronous Digital Hierarchy), basándose en la red SONET ya desarrollada en Estados Unidos a mediados de los 80. Esta red también fue pensada en un principio para el transporte de voz, pero también proporciona en su diseño soluciones a la gran mayoría de inconvenientes de PDH, siendo varias las ventajas que proporciona SDH frente a PDH: menos capas de trayecto administrativas, gestión mejorada, normalización en la capa del medio de transmisión para la conexión de fibras ópticas y transparencia de tramas de 64 kbps, lo que permite su inserción/extracción mediante multiplexores de forma simple.

Por estas razones se decidió utilizar equipos PDH (E1) para el despliegue de la red de acceso que recogía el tráfico de los usuarios mediante topología en árbol/cadena/estrella, y en los puntos donde confluían varias ramas se instalaron equipos SDH (conectados a fibra óptica o a radioenlaces SDH) con el fin de agregar el tráfico e introducirlo en lo que podríamos llamar una red troncal de acceso,

transportando a alta velocidad la información hasta los centros de conmutación de cada región geográfica, y aprovechando las ventajas de esta tecnología sobre PDH.

Es habitual que los equipos SDH se encuentren interconectados mediante anillos de fibra óptica, ya que la topología en anillo permite tener protección frente a cortes o fallos en algún punto del mismo (siempre hay dos caminos para llegar de un punto a otro del anillo).

### ***2.1.1.1. PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona***

En los inicios de las redes de comunicaciones se utilizaban básicamente dos modulaciones para la transmisión de voz a través de la red telefónica: aquella por división en frecuencia (como MDF) y la llamada “modulación por impulsos codificados” (MIC/PCM). Sin embargo, con la introducción de las centrales y los sistemas de transmisión digitales, la modulación más comúnmente utilizada fue la de Impulsos Codificados MIC. El motivo de su mayor difusión fue que esta modulación proporcionaba la manera más simple de convertir una señal analógica en digital.

La modulación MIC consta de tres procesos básicos:

- Muestreo

La Teoría de Nyquist especifica que para poder recuperar una señal analógica de ancho de banda  $W$  debemos tomar muestras de la misma con una cadencia al menos del doble, es decir,  $2W$ . Basándonos en esto tenemos que para digitalizar la señal telefónica de frecuencia vocal, la cual tiene un ancho de banda de 4kHz (la voz ocupa un rango entre los 300 y los 3400Hz y el resto hasta los 4000Hz se deja como zona de guarda), debemos tomar al menos 8000 muestras, lo que corresponde a un periodo de muestreo de  $1/8000=125\mu s$ .

- Cuantificación

Mediante el proceso de cuantificación se asignan valores discretos a las muestras obtenidas de la señal analógica. Para simplificar la señal digital a transmitir, se utiliza un número finito de valores discretos para representar de forma aproximada la amplitud de las muestras obtenidas. Para ello, todo el rango de amplitudes que pueden tomar las



muestras se divide en intervalos (de igual tamaño o no), de manera que todas las muestras cuya amplitud cae dentro de un mismo intervalo de cuantificación tomarán el mismo valor. Con este proceso se origina el llamado ruido de cuantificación que, si bien conlleva que los valores enviados son aproximaciones de los reales, no supone errores graves para la comunicación.

- Codificación

La codificación es el proceso mediante el cual se representa cada muestra (ya cuantificada) mediante una secuencia de bits. Para una transmisión telefónica, se supone que una cuantificación de 256 niveles es suficiente según los estudios psicoacústicos realizados, lo que requiere 8 bits para representar cada muestra ( $2^8=256$ ).

Esto quiere decir que por cada canal telefónico deben tomarse 8000 muestras/segundo, y cada una de esas muestras debe codificarse con un número binario de 8 bits, resultando una velocidad de modulación para un canal telefónico sin comprimir de:

$$8000 \text{ muestras/segundo} \times 8 \text{ bits/muestra} = 64000 \text{ bits/segundo}$$

Obviamente, en recepción cada muestra debe distribuirse a su canal respectivo, lo que conlleva sincronización entre ambos extremos.

La aplicación más importante de la técnica de modulación MIC o PCM fue para transmitir datos mediante multiplexación temporal (TDM), permitiendo que varios canales telefónicos digitalizados fuesen transmitidos por la misma línea de transmisión, aprovechando el espacio entre dos muestras consecutivas para intercalar muestras de otros canales. De ahí nació en los años 60 la Jerarquía Digital Plesiócrona (sus siglas en inglés son PDH), que es TDM y tiene sus versiones europea y americana. La unidad básica de PDH es el canal telefónico digitalizado a 64kbps, y la trama básica (tributario) en la jerarquía PDH europea se denomina E1 (MIC 30+2) y multiplexa 30 canales telefónicos añadiendo dos más para alineación y control. Una trama E1 tiene una duración total de 125 $\mu$ s y una velocidad de 2.048Mbps (en realidad se permite una variación alrededor de la velocidad exacta de 2.048Mbps de  $\pm 50$  ppm lo que significa

que dos flujos diferentes de 2 megas pueden estar funcionando a velocidades ligeramente diferentes uno de otro).

La forma en que se agregan los canales difiere entre las distintas regiones del mundo (Europa, América y Japón), pues PDH nunca se ha llegado a estandarizar a nivel global. En Europa, para crear las sucesivas tramas de los niveles jerárquicos superiores se agrupan tramas básicas de 32 canales telefónicos de 4 en 4, bit a bit. Cuando surgió PDH era tecnológicamente muy difícil y caro conseguir el sincronismo entre las diferentes fuentes de datos, por este motivo, aunque el número de canales telefónicos se multiplica por cuatro entre niveles consecutivos, la velocidad no es exactamente cuatro veces mayor. De este hecho deriva el nombre de esta jerarquía: plesiócrona, que quiere decir casi síncrona. En la siguiente tabla se presentan los distintos niveles de multiplexación TDM en Europa:

Nivel	Norteamérica			Europa			Japón		
	Circuitos	kbit/s	Denominación	Circuitos	kbit/s	Denominación	Circuitos	kbit/s	Denominación
1	24	1544	(T1)	30	2048	(E1)	24	1544	(J1)
2	96	6312	(T2)	120	8448	(E2)	96	6312	(J2)
3	672	44 736	(T3)	480	34 368	(E3)	480	32 064	(J3)
4	4032	274 176	(T4)	1920	139 264	(E4)	1440	97 728	(J4)

Figura 8: Niveles de Multiplexación PDH en Norteamérica, Europa y Japón

El número de canales en cada trama sigue la relación:  $E_n = 30 \cdot 4^{n-1}$

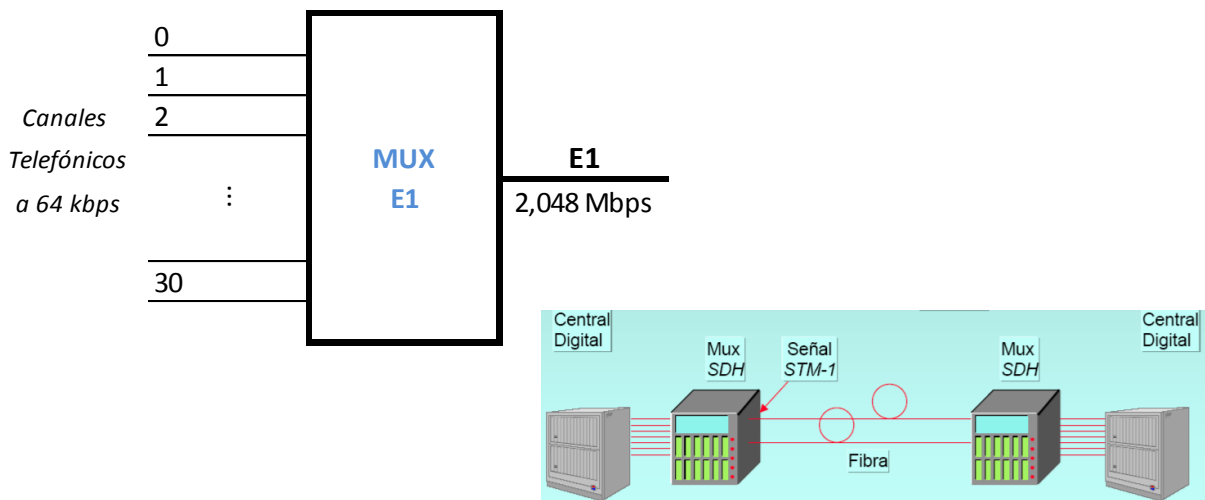


Figura 9: Esquema de un Multiplexor/Demultiplexor PDH

Los interfaces digitales usados para la interconexión de componentes de red digitales (multiplexores, centrales, etc.) se basan en la recomendación G.703 del CCITT, que definió sus características eléctricas y funcionales, siendo su propósito transportar información digital full-dúplex entre dos equipos, sobre pares simétricos o coaxial, junto con la señal de sincronismo. Este tipo de interfaz fue el utilizado en la RDSI, con velocidad de 64kbps para el enlace básico y 2.048kbps para el enlace primario.

La recomendación G.732 define el esquema de multiplexación en 32 canales (del 0 al 31) para una trama MIC a 2.048kbps. De los 32 canales, 30 se dedican a transportar información y 2 para la sincronización (canal 0) y la señalización (canal 16). En ocasiones podemos también utilizar el canal 16 para tráfico.

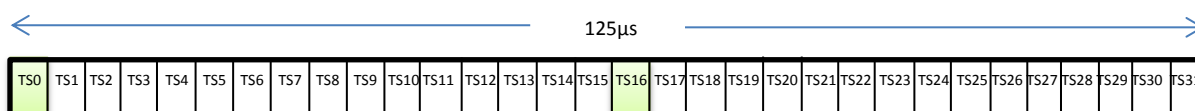


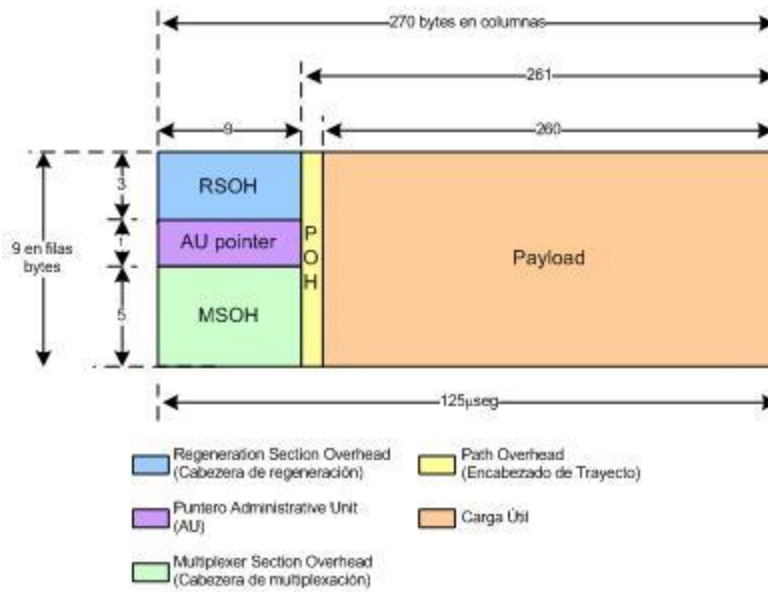
Figura 10: Trama E1 con sus 32 Timeslots

Sin embargo, PDH presentaba varios inconvenientes a la hora de adaptarse a las necesidades de una red que requiere una constante evolución: por una parte está el hecho de que existen distintas jerarquías a nivel mundial (Europa, EEUU, Japón), con lo que la estandarización de dispositivos no podía realizarse a nivel global; y por otra parte, por el hecho de utilizar bits de relleno para conseguir sincronismo (se insertan en distintos puntos de la trama según convenga) resulta que para acceder a un tributario de un determinado nivel dentro de una señal multiplexada, habríamos de demultiplexar paso a paso todos los canales hasta dicho nivel, y posteriormente, volver a multiplexar los canales para conseguir la señal original de nuevo. Otro gran inconveniente es que PDH no incorpora en sus tramas capacidad añadida para transmitir información relativa a la operación, mantenimiento y administración de la red, por lo que no es posible realizar tareas de monitorización, detección y corrección de errores, protección frente a fallos, etc.

### ***2.1.1.2. SDH: Jerarquía Digital Síncrona***

Como ya hemos comentado, la evolución de las redes de transmisión se hizo hacia su digitalización, basada en servicios portadores isócronos de 64 kbps en la capa física y en la aplicación de técnicas de multiplexación en la capa de transporte. Sin embargo, la Jerarquía Digital Plesiócrona, aunque útil, fue concebida para cubrir las necesidades de su época, es decir, para redes donde el tráfico predominante era de voz, por lo que carece de la flexibilidad y facilidad de gestión que demandaban las nuevas aplicaciones, que en su mayoría requieren transmisión de datos.

La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU bajo el nombre de SONET (Synchronous Optical Network) o ANSI T1X1 y posteriormente (1989) el CCITT (hoy UIT-T) publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH. Esta jerarquía nació para facilitar la compatibilidad entre distintos equipos de gestión y transmisión, por medio de un mayor número de funciones normalizadas que las presentes en los equipos existentes, de forma que se eliminaran los inconvenientes presentados por PDH. Su objetivo era la definición de redes abiertas de alta velocidad que multiplexaran señales digitales utilizando fibra óptica como medio de transmisión. Además, puesto que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y por tanto debía convivir con el sistema PDH existente, SDH de alguna manera tenía que adaptarse al mismo. Por esta razón se normalizó el proceso mediante el cual las antiguas tramas PDH pueden ser transportadas en la nueva trama básica SDH, denominada STM-1 (Synchronous Transport Module 1) y con una velocidad de transmisión de 155'52 Mbps (la duración de la trama básica STM-1 es de 125 $\mu$ s igual que la trama básica de PDH).



**Figura 11: Trama Básica SDH: STM-1**

Como puede verse en la Figura 11 la trama SDH tiene carga “no útil”, por lo que no se debe considerar la velocidad nominal de transmisión de datos como la velocidad final a la que se va a intercambiar información relevante de un punto al otro. Por ejemplo, para el caso de un STM-1 a pesar de manejar una velocidad de bit nominal de 155Mbps, en la práctica sólo es útil para trasportar 63 E1s (aprox. 126Mbps).

De forma similar a la jerarquía PDH, los niveles superiores se construyen multiplexando tramas del nivel inferior: si intercalamos cuatro tramas STM-1 obtendremos una trama STM-4, y cuatro STM-4 forman un STM-16. Sin embargo, a diferencia de la jerarquía plesiócrona donde las tramas superiores se construyen multiplexando bit a bit las tramas inferiores y la velocidad resultante no es exactamente cuatro veces superior, en SDH ese multiplexado se hace byte a byte (sin bits de relleno) y la velocidad de un STM-4 sí es exactamente la de un STM-1 multiplicada por cuatro. Esto fue posible gracias a la existencia en los años 90 de equipos más avanzados tecnológicamente y viables económicamente, capaces de sincronizar con precisión múltiples nodos en una red relativamente extensa.

Jerarquía	Velocidad (Mbps)	Número de VC-12	Canales de 64kbps
STM-1	155,52	63	2430
STM-4	622,08	252	9720
STM-16	2488,32	1008	38880
STM-64	9953,28	4032	155520
STM-256	39813,12	16128	622080

	STM-1	STM-4	STM-16
E1's	63	252	1008
E3's	3	12	48
E4's	1	4	16

**Tabla 2: Niveles de la Jerarquía Digital Síncrona (Arriba). Número de EIs por trama STM-N**

La capacidad de transmisión que ofrece el STM-1 es divisible dinámicamente mediante los llamados contenedores, de los que existen varios tipos (C-12 para los primarios de 2Mbps PDH europeos), siendo éstos los que proporcionan la transmisión de las señales procedentes de las distintas jerarquías. A estos contenedores se les añade una cabecera llamada POH (Path OverHead), que aporta información extra, para formar los llamados contenedores virtuales (VC).

Para indicar la posición relativa de cada VC dentro de la trama se utilizan punteros. Esto facilita las operaciones de inserción/extracción, pues gracias a los punteros puede accederse directamente a un canal de cualquier trama sin necesidad de descomponerla, como sucedía en PDH (para extraer un canal de 2Mbps de una trama superior había que demultiplexar toda la estructura y posteriormente volver a multiplexar todos los canales). Los punteros también permiten adaptar la velocidad de la fuente a la que ofrece el contenedor, mediante la justificación por relleno de bits, lo que permite el empleo de SDH con señales tanto síncronas como plesiócronas, bastando en muchos casos reemplazar unos equipos PDH en la red por otros SDH.

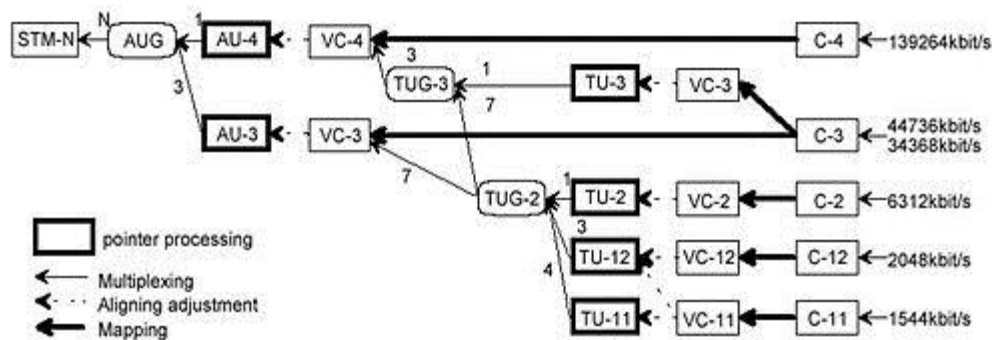


Figura 12: Esquema de la multiplexación de las distintas tasas PDH dentro de una trama SDH

SDH también hace frente a la capacidad de operación, gestión y administración de la red (OAM), pues a diferencia de PDH incluye información extra para ello que viaja con los canales tributarios a través de la misma.

Otra característica de las redes SDH es que permiten la topología en anillo, lo que las hace más robustas ante fallos y cortes, además de permitir una utilización más eficaz, flexible y económica del ancho de banda al poderse éste asignar dinámicamente a cualquiera de los nodos. Esto no es posible en las topologías estrella/árbol PDH, donde el reparto de ancho de banda debe estar planificado de antemano.

En cuanto a la aplicación en equipos, SDH genera una nueva serie de productos, desde los multiplexadores necesarios para las nuevas transiciones de nivel, equipos de línea para fibra óptica para 155.52 Mb/s y 622.08 Mb/s, sistemas de radio, "cross-connect" (conexión cruzada) programables, "drop-insert" (derivación y agregado) también programables en cualquier nivel, y todas las combinaciones posibles integradas, como por ejemplo multiplexores con drop-insert ADM (Add-Drop Multiplexer), etc. Los "drop-insert" (DI) permiten derivar señales e insertar nuevas de menor capacidad en una línea M principal, facilitado también por el sincronismo.

Pero el equipo con mayor futuro en las redes de telecomunicaciones es el "cross-connect" (CC) que permite reordenar, derivar e insertar señales, sobre todo si las mismas son de niveles bajos, por ejemplo 2 Mb/s en 620 Mb/s, ya que en la SDH no es necesaria la demultiplexación como en la plesiócrona. Los equipos de "cross-connect" se definen por su nivel de acceso y por su nivel de conmutación.

La aplicación de estos equipos redonda en una mayor flexibilidad de las redes.

Por todos los motivos comentados, SDH se presentó como una tecnología adecuada para la transmisión tanto de voz como de datos.

### ***2.1.1.3. Comparativa PDH – SDH***

En la Tabla 3 podemos ver una comparativa entre las tecnologías PDH y SDH. La mayoría de propiedades citadas en SDH son ventajas respecto a la jerarquía PDH.

Sin embargo, no siempre es mejor instalar tecnología SDH. En los casos en los que no se requieren capacidades tan altas como para llenar un STM-1, como podría ser en los radioenlaces última milla o en muchos otros donde la capacidad necesaria para transportar los E1s de las BTS no es muy alta, es aconsejable utilizar radioenlaces PDH, pues su coste es menor que el de los equipos SDH.



PDH	SDH
Velocidades diferentes según zona geográfica (Europa, Japón, EEUU)	Velocidades de transmisión universales
Velocidad básica: canal telefónico de 64 kbps	Velocidad básica: STM-1 (155,52 Mbps)
Velocidad de $En+1 > 4 \times \text{Vel de } En$	Velocidad de $STM-n = n \times \text{Vel de STM-1}$
MUX/DEMUX mediante hardware	MUX/DEMUX mediante software: proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias de la información
Entrelazado bit a bit (excepto en E1, que es byte a byte)	Entrelazado síncrono byte a byte
Velocidades bajas/medias	Velocidades altas (broadband)
Medios de transmisión: cable de pares, coaxial, radio	Medios de transmisión: radio (sólo STM-1), fibra óptica
Para la multiplexación todos los afluentes deben tener la misma velocidad	FLEXIBILIDAD: Permite multiplexar afluentes de diferentes velocidades, las tramas tributarias de las señales de línea pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM o unidades de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.
MUX/DEMUX paso a paso hasta el nivel necesario	MUX/DEMUX directamente STM-1 --> E1
Topología punto a punto	Topología punto a punto o anillo
	Es posible encapsular PDH en la trama SDH
Incompatibilidad entre equipos de distintos fabricantes por la ausencia de un único estándar	Compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos proveedores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricos y ópticos
Cada equipo tiene su propio reloj, pudiendo no existir sincronismo perfecto entre equipos (plesiócronos = casi síncronos)	Necesidad de sincronismo entre los nodos de la red SDH, se requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización
Dos de cada 32 bytes se utilizan para señalización y administración. Es menos eficiente que SDH.	El principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de Bytes destinados a la cabecera de sección es demasiado grande, lo que lleva a perder eficiencia.
Se reservan los timeslots 0 y 16 de cada trama para tareas de administración y señalización. El mecanismo de detección de errores es muy poco exhaustivo. Existen indicadores de alarmas tipo LOS. Encabezado muy limitado, sólo para funciones O&M básicas	A cada contenedor virtual se le añade un Path Overhead (POH) que permite realizar mantenimiento, operación y supervisión de la señal a través de la red. Incluye detección de errores, indicadores de alarmas y etiquetas del tipo de VC12

**Tabla 3: Tabla comparativa de las propiedades de PDH vs. SDH**

### 2.1.2. Despliegue de la Red

La red que se va a mostrar en este apartado constituye la red de acceso de partida, que será objeto de la evolución en que se basa este Proyecto Final de Carrera.

Así, con la llegada de las nuevas tecnologías de redes celulares (3G, 4G), servicios y aplicaciones, esta red (propiedad de la operadora) se irá transformando para ser capaz de soportarlos, garantizando que los usuarios reciban un servicio de calidad acorde a sus necesidades, tratando además de que sea mejor que el servicio que ofrece la competencia. Por supuesto, económicamente también interesa ofrecer servicios diversos y de alta calidad, pues permite a la operadora ofrecer tarifas más elevadas por disfrutarlos.

Una vez dicho esto, veamos esquemáticamente dónde se encuentra la red de transmisión de acceso en la red GSM.

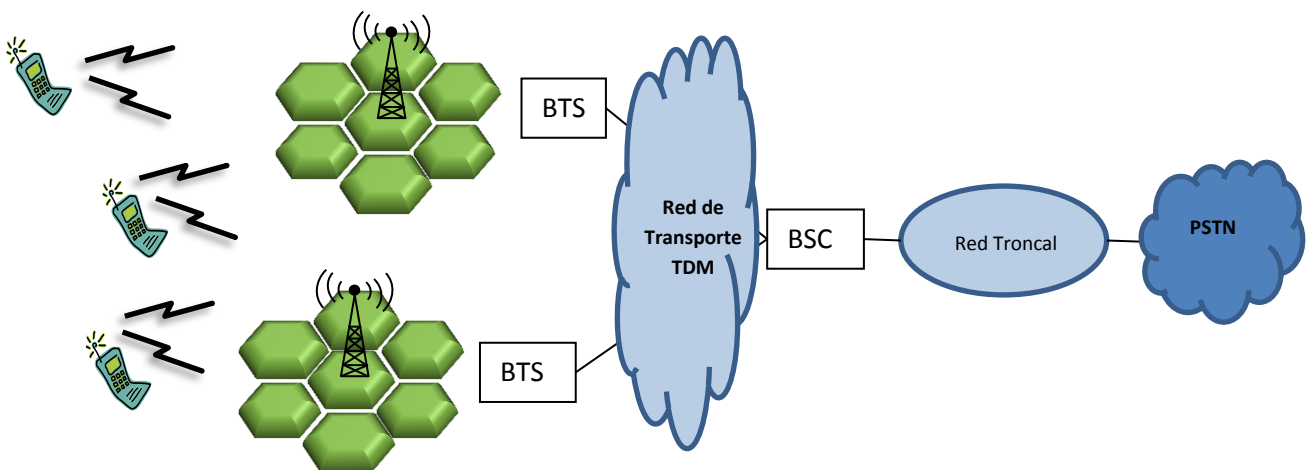


Figura 13: Esquema Red GSM y Red de Transmisión de Acceso

Como se puede ver en la Figura 13, la red de transporte o red de transmisión de datos que va a ser objeto de estudio es aquella parte de la red de acceso móvil encargada de encaminar las señales desde las estaciones base (y más adelante también de los nodos B y Redes Privadas Virtuales) hasta los centros de conmutación donde se encuentran las BSCs (y RNCs y Media Gateways).

Para hacernos una idea del tamaño de esta red, imaginemos que hay que dar cobertura GSM a toda la provincia de Valencia (núcleos urbanos, principales carreteras

y autovías, vías del tren). El centro de conmutación donde se encontrarán las BSCs (probablemente se necesiten dos o tres BSCs para controlar todas las BTS de la provincia) se sitúa en un determinado punto, por ejemplo, en la ciudad de Valencia. A este punto debe llegar la información generada por todas las Estaciones Base de la provincia por muy alejadas que estén, lo que requiere que la red de acceso se prolongue desde la capital hasta las fronteras, a casi 100km de distancia.

### ***2.1.2.1. Elementos constituyentes básicos***

Para poder llegar a todos los puntos se utiliza una combinación de varios tipos de elementos, equipos y medios de transmisión:

- Radioenlaces

Un radioenlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía radio de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí, y entre los que debe existir línea de visión directa. Constan de un equipo transmisor/receptor en ambos lados y requieren algunos accesorios para funcionar (fuentes de alimentación o baterías, torres, antenas, cables, tarjetas y otros).

- Equipos

Existen múltiples equipos de diferentes tecnologías (SDH, PDH, Ethernet, MPLS, ATM) y fabricantes (Huawei, Nokia Siemens, Ericsson, Alcatel...) que se encargan de multiplexar, encaminar, agregar tráfico, etc.

- Enlaces locales entre equipos

Se trata de enlaces físicos que se realizan en cada emplazamiento para conectar los diferentes equipos entre sí cuando se requiere. Dichas conexiones pueden utilizar varios medios físicos (cables de pares, coaxiales o fibras ópticas) y transportar diferentes tecnologías (E1 PDH, STM-1 SDH, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet).

- Otros medios de transmisión

Por ejemplo fibra óptica para interconectar los equipos SDH distantes entre sí. El tendido de fibra puede correr a cargo del propio operador, aunque también puede alquilarse a otra compañía que ya disponga de fibra (ductos de RENFE, Abertis, Telefónica).

- **Emplazamientos**

Son los lugares escogidos para ubicar las Estaciones Base de telefonía móvil. En un mismo emplazamiento puede ofrecerse al mismo tiempo los servicios GSM, DCS y UMTS, siempre que se instalen los equipos correspondientes.

- **Enlaces Lógicos**

Un enlace lógico constituye una ruta extremo-a-extremo definida entre una BTS y la BSC, es decir, está definido a través de los distintos tramos físicos necesarios para conectar ambos puntos. En la red GSM lo habitual es que a cada BTS se le asigne uno o dos El's de capacidad (si en un emplazamiento hubiese GSM y DCS se les asignan circuitos por separado, uno o dos El's para cada tecnología), aunque puede ocurrir que sólo se utilicen unos pocos timeslots.

Es importante apuntar que previamente a la definición del enlace lógico, deben haberse realizado las conexiones oportunas en los equipos de la ruta que va a seguir.

### ***2.1.2.2. Topologías de Red***

El primer paso a la hora de desplegar la red de acceso GSM es dividir el área geográfica que se desea cubrir siguiendo un patrón celular. Se reparten las Estaciones Base (BTS o Base Station Transceiver), normalmente una por celda, aunque es posible instalar más de una si se necesita capacidad adicional por crecimiento de los usuarios en la celda. Estas BTS son las encargadas de recibir el tráfico de los usuarios de la zona a la que dan cobertura, a través del interfaz Um (Figura 3).

El siguiente paso, tal como se comentó antes, es conectar las BTS a la BSC correspondiente (interfaz Abis), para lo que es necesario desplegar una compleja red de transmisión, a través de la que se definirán los enlaces lógicos. Lógicamente no es viable una topología punto a punto entre BTSs y BSC por no ser una opción práctica y

los altos costes que implicaría, dado el gran número de las primeras, por lejanía geográfica entre elementos y posibles obstáculos entre ellos; de esta manera optamos por topologías que combinan los tipos árbol, estrella, en cascada o incluso tipo anillo (SDH), veremos en qué casos.

El proceso de despliegue lógicamente es progresivo. Un punto de partida puede ser, por ejemplo, comenzar desde el centro de conmutación donde se encuentra la BSC (o BSCs) y llegar a las BTSs más cercanas utilizando radioenlaces punto a punto entre emplazamientos, lo que sería una topología en estrella. Posteriormente, desde esos emplazamientos parten otros radioenlaces a otras estaciones cercanas y así sucesivamente se va extendiendo la red, ramificándose en árbol hasta cubrir toda la zona geográfica bajo interés (ver Figura 14).

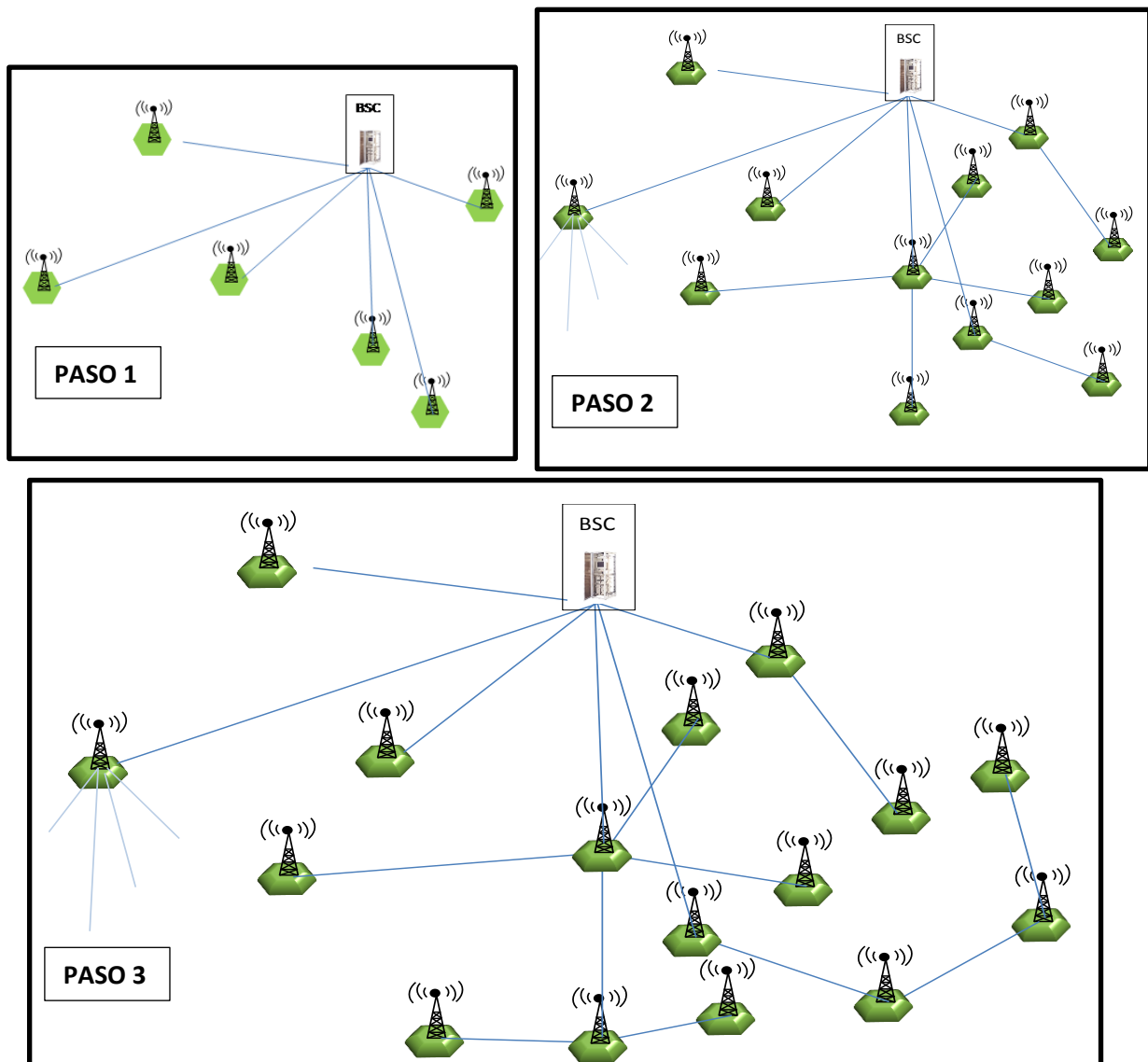


Figura 14: Despliegue progresivo de la Red de Acceso mediante topología en Árbol

### 2.1.2.2.1. Topología en Estrella

Esta topología consiste en unir las estaciones y la BSC/RNC mediante líneas punto a punto.

Como ventaja, esta topología simplificaría la gestión y control de la red por parte de los técnicos de transmisión y proporcionaría mayor capacidad por estación, al tener los recursos dedicados.

La mayor desventaja y lo que hace inviable esta topología es la inversión que habría que realizar para desplegar una línea por estación. Los costes de operación y mantenimiento también serían mucho mayores, pues se tendría una red compuesta por muchos más equipos que en el caso de que los recursos estén compartidos por varias estaciones recursos.

### 2.1.2.2.2. Topología en Cadena

Esta topología consiste en ir encadenando estaciones, ya sea encadenando también su tráfico (Figura 15) o teniendo cada una sus recursos dedicados (Figura 16). En el primer caso las estaciones de la cadena compartirían ruta y los mismos recursos de transmisión (E1s), mientras que en el segundo, también compartirían ruta pero sus flujos de tráfico viajarían independientemente. Esta topología puede ser útil para cubrir zonas poco pobladas como carreteras y vías de tren, o llegar a pequeñas poblaciones alejadas de otras.

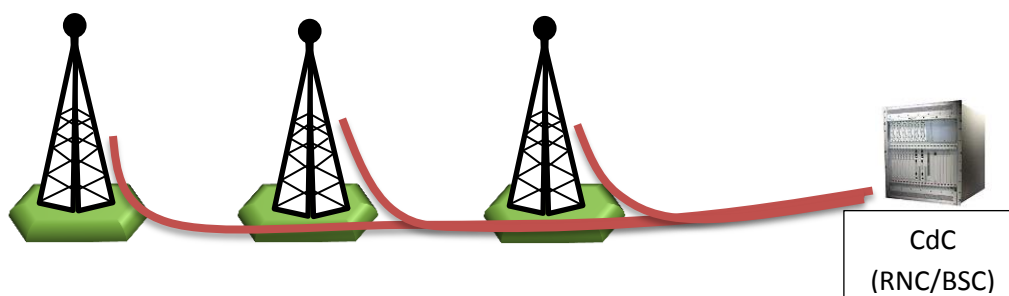
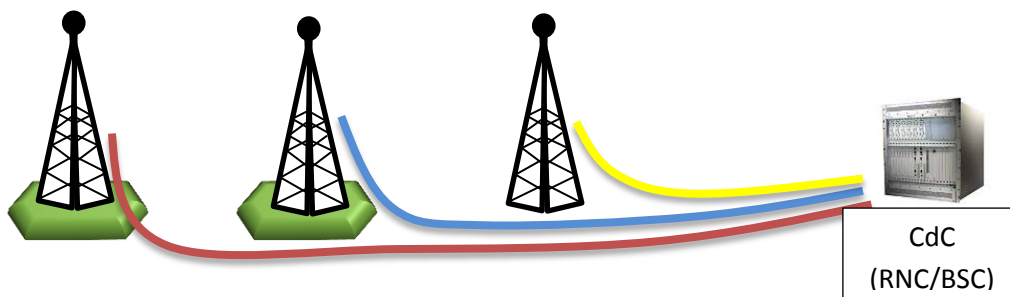


Figura 15: Detalle de Topología en Cadena o Cascada de varias estaciones (BTS/Nodos B)

Se podría decir que esta topología es la opuesta a la anterior en estrella.

En el caso de encadenar el tráfico, la ventaja de esta topología es el ahorro en recursos de transmisión y por extensión en costes de equipos y su mantenimiento.

Las desventajas de la topología en cadena serían, por una parte, una mayor complejidad en la gestión y control del tráfico de cada estación encadenada, pues un cambio de topología en una de ellas puede conllevar cambios en el resto. Por otra parte, si se produjese un fallo en una estación (por ejemplo corte de suministro eléctrico), esto afectaría a las que cuelgan de ella, pues inevitablemente estarán atravesando equipos en el emplazamiento averiado. Por estos motivos se limita el encadenamiento a 5 niveles, aunque lo habitual es tener 2 o 3.



**Figura 16: Detalle de Topología en Cadena o Cascada donde cada Estación dispone de sus propios recursos dedicados hasta el CdC.**

### 2.1.2.2.3. Topología en Árbol

La topología en árbol es útil en prácticamente todos los escenarios, dada su forma de expandirse como si se tratase de las ramas de un árbol. Los enlaces que llegan a las estaciones finales se denominan “última milla”, la red va recogiendo tráfico y concentrándolo progresivamente hasta llegar al centro de conmutación. Este método permite disponer de grandes puntos concentradores a los que se les asignan mayores recursos y se monitorizan con mayor atención, disminuyendo esta necesidad en puntos pequeños y medianos. Un ejemplo de esta topología puede verse en la Figura 14.

La desventaja de esta topología es que un fallo en un emplazamiento concentrador o en el enlace de salida puede provocar la caída de los numerosos elementos que pasan por él y por tanto dejando sin cobertura grandes áreas. Para evitar esto, los puntos concentradores de mucho tráfico se tratan de unir mediante topologías en anillo.

#### **2.1.2.2.4. Topología en Anillo**

Esta topología es aconsejable en aquellos puntos a los que se quiera dar protección por diversidad de caminos. Puede ser el caso, por ejemplo, de los emplazamientos que condensan el tráfico de muchos elementos, en los que disponer de una única salida supone una caída masiva de elementos en caso de corte.

Esta topología es bastante habitual en la red de fibra óptica SDH que funciona como red troncal agregadora de grandes cantidades de tráfico llevándolo al CdC. En caso de corte de un tramo de fibra, se dispone de otra ruta en el otro sentido, de manera que dos puntos cualesquiera del anillo siempre van a poder comunicarse entre sí.

La desventaja es la duplicidad de recursos y el gasto que supone. Por este motivo esta topología se reserva para los casos que se han mencionado.

#### **2.1.2.3. Elección del emplazamiento**

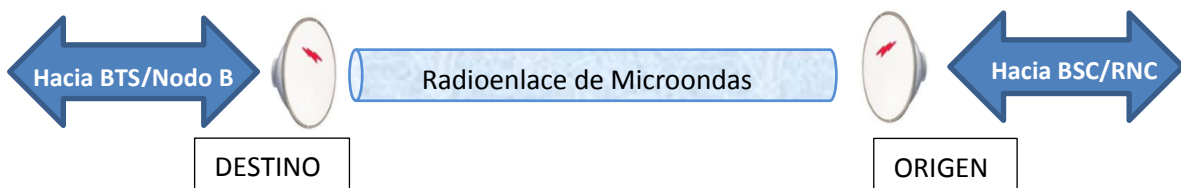
Un emplazamiento o "site" se trata de un lugar donde el operador coloca sus equipos (BTS, nodo B, extremos de los radioenlaces, multiplexores, etc.), existiendo uno por cada célula de la red y también en puntos estratégicos, como podría ser la cima de una montaña con buena visibilidad hacia otros múltiples emplazamientos. En una red de acceso móvil podemos encontrar varios tipos de emplazamientos:

- *Emplazamiento rural.* Como su nombre indica, el emplazamiento está ubicado en una zona no poblada, pudiendo encontrarse en medio del campo, en lo alto de una montaña, en los márgenes de una carretera o la vía del tren, etc.
- *Emplazamiento urbano.* Se sitúa en una zona poblada, ya sea en medio de una ciudad, pueblo o aldea, en un polígono industrial o similares.
- *Emplazamiento con torre.* El emplazamiento consta de una torre donde se colocan los equipos radiantes que dan cobertura y las antenas parabólicas de los radioenlaces, y el resto de equipos, que suelen instalarse en el interior de casetas o bastidores (outdoor). Se delimitan mediante vallas para evitar el paso a personas no autorizadas y animales. También podemos encontrar torres en lo alto de algunos edificios, aunque no es la configuración habitual.



- *Emplazamiento situado en un edificio, habitualmente en la azotea.* El emplazamiento consta de equipos radiantes que suelen anclarse a mástiles instalados en la azotea del edificio, y el resto de equipos que se colocan en una caseta (puede ser un cuarto del propio edificio o no) o en un bastidor (outdoor).

Durante el proceso de elección y despliegue de emplazamientos hay que tener en cuenta la orografía del terreno y la altura. Es aconsejable colocar los emplazamientos en puntos relativamente altos, por una parte porque es mejor de cara a dar cobertura a los usuarios al encontrarse con menos obstáculos a su alrededor; y por otra, porque es necesario conducir el tráfico recogido hacia el centro de conmutación, lo que suele llevarse a cabo mediante radioenlaces, que requieren que exista línea de visión directa con el emplazamiento origen de los mismos (por convenio consideraremos que el extremo origen de un radioenlace es aquél que se encuentra más cercano al centro de conmutación, y el extremo destino el más alejado, Figura 17).



**Figura 17: Extremos origen y destino en un radioenlace**

Por ejemplo, en una población sería aconsejable situar los emplazamientos en los edificios más altos (siempre que sea posible por acuerdo con los propietarios de los mismos, licencias, etc.). De igual forma, suelen situarse emplazamientos en lo alto de montañas o colinas, aprovechando que tienen mayor altitud relativa respecto al terreno que les rodea.

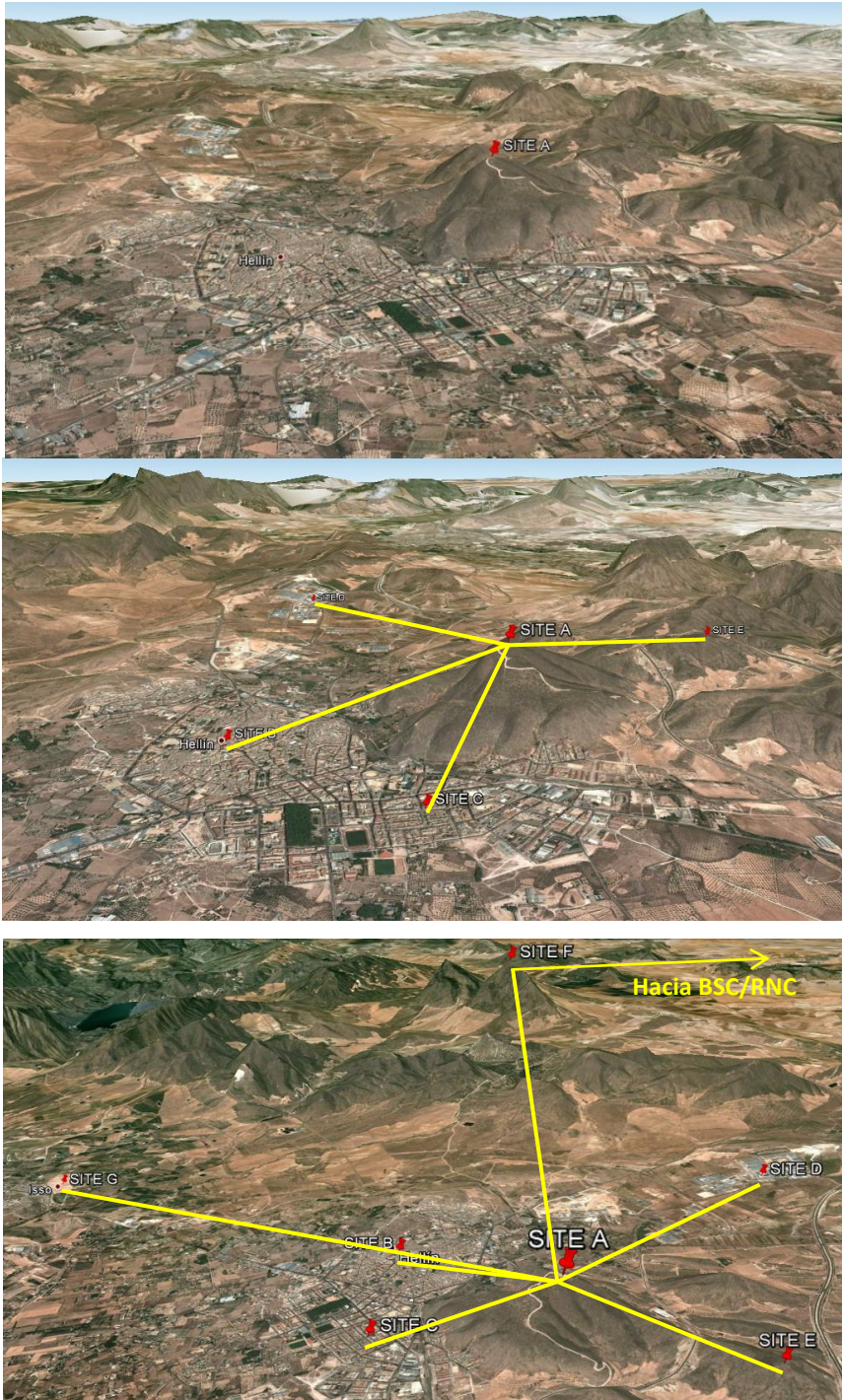
Es habitual que existan localizaciones más favorables que otras en lo que se refiere a visibilidad con emplazamientos cercanos, y que entonces se conviertan en puntos de confluencia de múltiples radioenlaces. Por ejemplo, imaginemos una zona geográfica donde hay múltiples poblaciones repartidas por una extensa meseta o planicie, y en un punto de la misma hay una montaña: en este escenario podríamos aprovechar la posición privilegiada que nos ofrece la montaña para concentrar el tráfico de las poblaciones que la rodean. A ese mismo emplazamiento debería llegar, además,

un radioenlace desde la dirección hacia donde está el centro de conmutación (ya sea directamente o desde otro emplazamiento con ruta hacia el mismo).

En la Figura 18 se puede ver un ejemplo de lo expuesto en el párrafo anterior. Se aprovecha la montaña que se levanta al lado de la población de Hellín (Albacete) para recoger el tráfico de cinco emplazamientos cercanos: dos que dan cobertura al pueblo, otro que cubre el polígono industrial, otro que cubre parte de una carretera cercana y otro que da cobertura al pueblo de Isso.







**Figura 18: Ejemplo de Despliegue en zona de mayor altitud relativa**

También podemos optar por situar un emplazamiento en la azotea de un edificio alto en una población, de manera que si dicha población es grande ese emplazamiento sea el concentrador del resto de BTS de la misma a través de sendos radioenlaces,

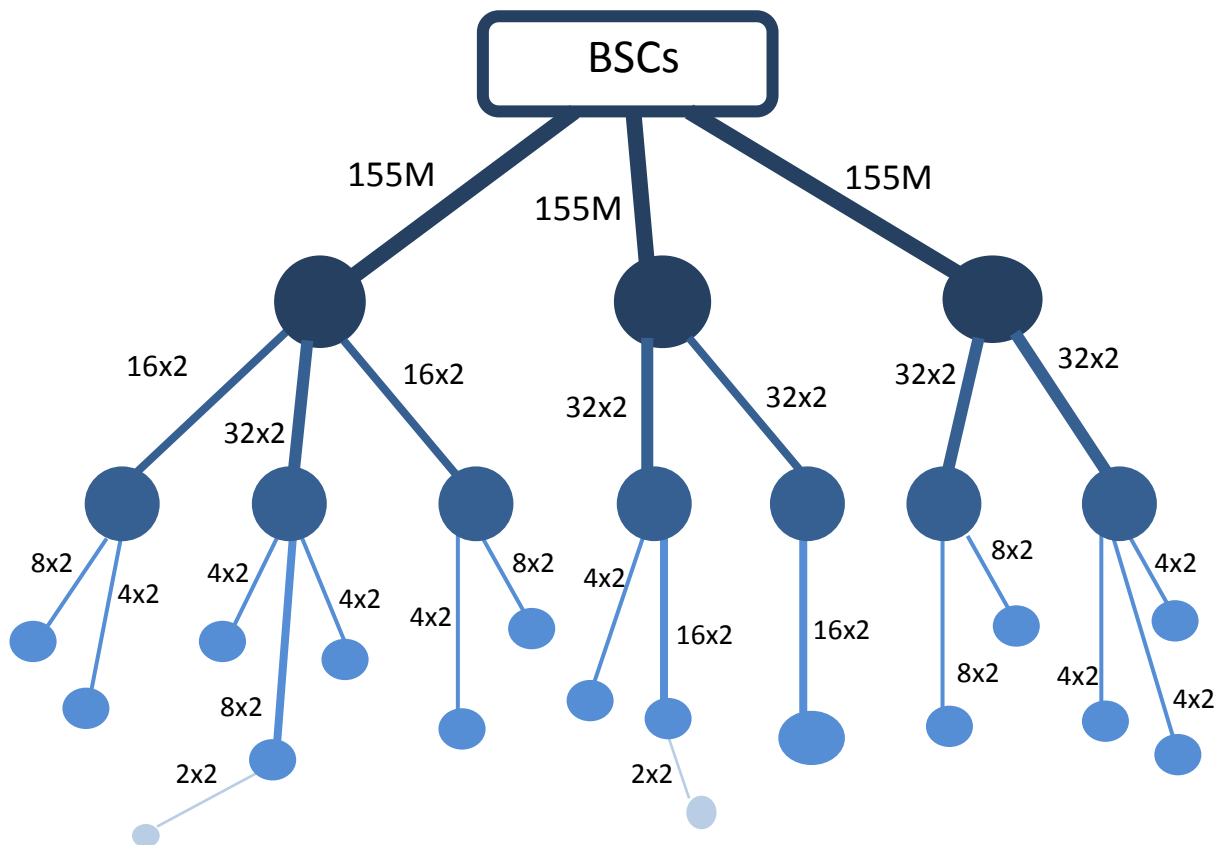
además de las BTSs de poblaciones vecinas con las que también exista visibilidad directa.

Si la zona comenzase a crecer de forma que el caudal de tráfico concentrado en el Site A fuese muy grande, y si pudiésemos llegar con fibra óptica al mismo, nos podríamos plantear colocar un equipo SDH en ese emplazamiento. Esta modificación nos permitiría tener mayor capacidad de salida para acomodar el tráfico recogido en A y, además, nos ofrece un medio de transmisión más fiable que los radioenlaces, un método de transmisión más robusto que PDH y la posibilidad de tener protección frente a cortes si incluimos el equipo SDH en un anillo de fibra. También existen radioenlaces SDH que se pueden instalar si no es posible la opción de la fibra óptica, y que nos ofrecen una capacidad de 155Mbps (STM-1).

Como resumen, podríamos listar los criterios de despliegue de una red de transmisión para soporte de GSM de la siguiente forma:

- a) Los radioenlaces con origen en el emplazamiento donde se sitúan las BSCs y que transportan los enlaces lógicos de un número elevado de Estaciones Base, serán SDH de 155Mbps. Estos radioenlaces suelen configurarse con protección 1+1.
- b) Los radioenlaces última milla (aquellos de los que cuelga una única estación situada en el extremo destino del mismo) son siempre PDH. Así mismo, los radioenlaces que lleven los enlaces lógicos de hasta 10 o 20 estaciones también pueden ser PDH sin problemas.
- c) En los puntos que se convierten en grandes concentradores de tráfico (reciben el tráfico de decenas de estaciones) lo idóneo es instalar un equipo SDH al que se introduzcan los tributarios E1 por un lado, saliendo multiplexados en tramas SDH por un único medio de transmisión (fibra o radio) junto con datos para su operación y mantenimiento (detección de errores, indicadores de alarma, etc.).
- d) Una red SDH apuesta por arquitecturas en anillo, constituidas por multiplexores de extracción e inserción de señales o ADM. Los anillos permiten conseguir redes muy flexibles, pudiendo extraer o añadir señales tributarias en cualquiera de los nodos que conforman el anillo. Por este motivo, es muy interesante interconectar los equipos SDH mediante anillos de fibra óptica.

- e) Si un determinado radioenlace PDH se quedase corto de capacidad pero no llega a transportar excesivo tráfico (i.e. se ha instalado una nueva BTS o VPN de voz cuya ruta hacia el centro de conmutación pasa por él) en la mayoría de los casos será posible ampliar su capacidad mediante una simple modificación software sin coste para la operadora (cambiando la modulación, lo que en muchos casos puede incluso hacerse en remoto).
- f) Los enlaces lógicos se definen a través de los elementos físicos, reservando recursos en los mismos (no se comparten con otras BTS).
- g) La capacidad de los enlaces va en progresión. Los enlaces que unen centros de conmutación entre sí o los que desembocan el tráfico de gran cantidad de Estaciones en los mismos, son los de mayor capacidad, haciendo uso de enlaces de fibra óptica (STM-1, STM-4 o STM-16) o radioenlaces SDH (máximo STM-1). Conforme nos alejamos de los centros de conmutación la capacidad requerida en cada enlace va siendo menor, por lo que es suficiente instalar radioenlaces PDH y por tanto de menor capacidad (hasta 32x2 o 64x2). Finalmente, los radioenlaces última milla tienen las capacidades más bajas (2x2, 4x2, 8x2).



### **2.1.3. Elementos constituyentes de la Red de Acceso TDM. Equipos disponibles en el mercado**

En este apartado se va a explicar con más detalle qué elementos nos vamos a encontrar en la Red de Transmisión de Acceso 2G, sus características y funciones. Así mismo, se van a exponer equipos reales disponibles en el mercado y que actualmente siguen estando presentes en las redes de acceso.

#### ***2.1.3.1. Estaciones Base (BTS)***

La Estación Base es el elemento de la red GSM que permite a los usuarios de una operadora acceder a su red a través del terminal móvil. Existe una BTS por celda (habitualmente en el centro de ésta), a la que da cobertura.

La principal función que realiza la BTS es el tratamiento de la señal radio que se transmite/recibe a través de las antenas. Se encarga de modular/demodular la señal radio entre la MS y la BST, así como controlar la potencia de emisión. También realiza el mapeo entre los timeslots del interfaz Um y los timeslots del interfaz Abis. Las funciones más inteligentes, como pueden ser los handovers o la autenticación de los terminales móviles, son gestionadas desde otros elementos de la red.

La BTS incluye por tanto todo el equipamiento radio (i.e., antenas, amplificadores, dispositivos de procesamiento de señal) necesario para transmitir en el área de la celda.

##### **2.1.3.1.1. Estación Base Ericsson: RBS2000 Series**

Las BTS suministradas por Ericsson han sido las más implantadas en la red 2G. RBS significa “Radio Base Station”, que es otra forma de llamar a la BTS.

Ericsson ofrece una amplia gama de equipos tanto para 2G (Serie 2000) como para UMTS (Serie 3000).

Los equipos de la Serie 2000 (a diferencia de RBS200 que sólo funcionaba a 900MHz) permiten configuración tanto en la banda de los 900MHz (GSM) como en la de 1800MHz (DCS). Algunos equipos pueden funcionar incluso en la banda de 1900MHz.

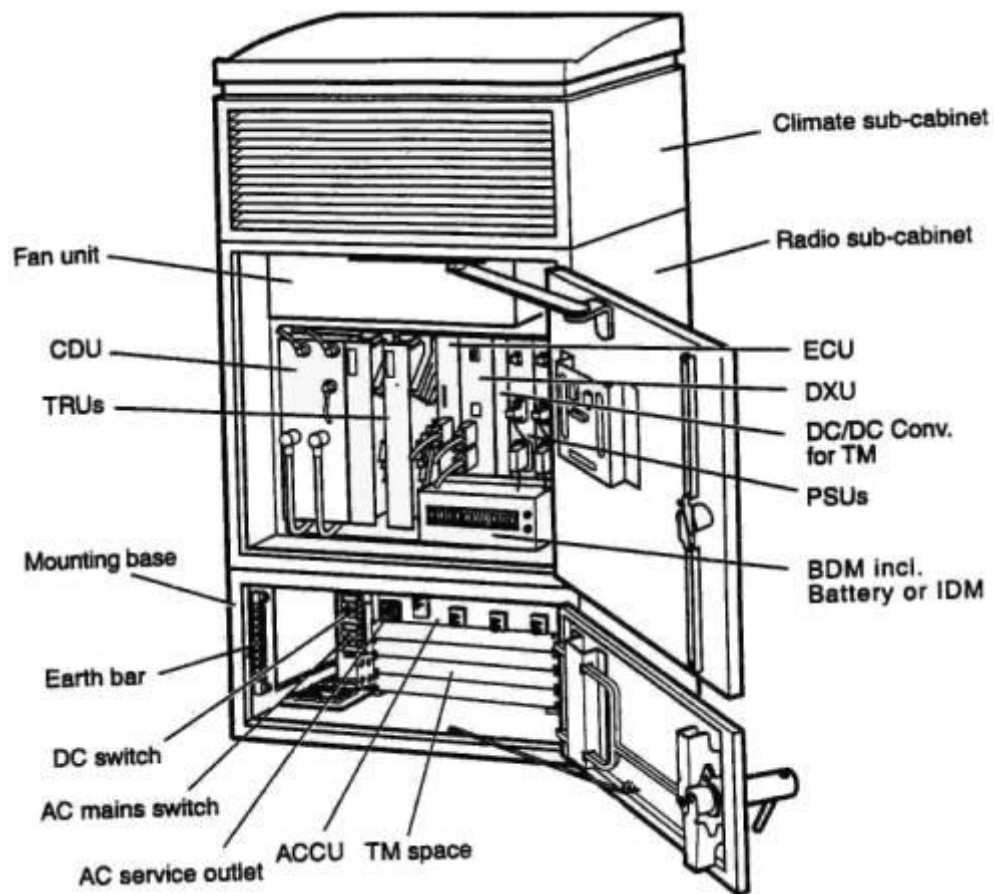


Figura 19: RBS2101 Outdoor [5]

En la Figura 19 podemos ver los componentes que constituyen una determinada BTS de Ericsson, la RBS2101, que es uno de los primeros modelos que introdujo en el mercado. Veamos con algo más de detalle cuáles son los elementos principales y sus funciones (para otros modelos o fabricantes serán iguales o similares, variando sólo algunas prestaciones):

- **Power Supply Unit (PSU):** contiene un rectificador/convertidor del suministro eléctrico para adaptarlo a la tensión de alimentación que necesita el sistema para funcionar.
- **Distribution Switch Unit (DXU):** Esta es la unidad de control principal, por lo que existe una DXU por BTS. Es la unidad donde se encuentran los interfaces de línea o puertos E1 para comunicación con la red de transmisión, siendo habitual que existan tres interfaces E1. Otras funciones que desempeña la DXU son:
  - Provee Interfaz con la BSC
  - Extrae la señal de reloj usada de la trama PCM
  - Concentración de los control links (señalización LAPD) hacia la BSC
  - Control de alarmas
  - Interfaz para operaciones y mantenimiento (O&M)
  - Almacena la base de datos con la configuración del equipo
- **Internal Distribution Unit (IDM):** Maneja la distribución del suministro eléctrico ya en corriente continua hacia las tarjetas instaladas en la BTS. Se suelen incluir baterías para evitar caídas de la estación en caso de cortes del suministro.
- **Transceptor o Transceiver (TRX).** Cada TRX supone la capacidad de transmitir datos en una portadora.
- **Transceiver Radio Unit (TRU):** Se trata de la unidad transmisora/receptora y de procesamiento de la señal. Un TRU tiene un TRX. Posee el control sobre la amplificación de la señal, siendo cada TRU capaz de manejar una portadora. Existen modelos de RBS que cuentan con dTRU, que tiene dos TRX en lugar de uno así como un combinador para agregar la señal de ambos TRX. [6]
- **Combining and Distribution Unit (CDU):** esta unidad nos permite combinar varios TRX para ser transmitidos por una misma antena, utilizando el mismo cable y conector para manejar varios canales. Por lo tanto, el



“combinador” nos permite agrupar varias portadoras, ahorrándonos instalar más antenas, así como ofrecer la funcionalidad Frequency Hopping.

- **Configuration Switch Unit (CXU):** se encarga de la crossconexión entre la CDU y la dTRU en recepción.
- **Fan Unit:** para evitar el sobrecalentamiento de los equipos y garantizar su correcto funcionamiento, se instalan ventiladores y controles de climatización dentro de los bastidores.

El abanico de modelos varía entre configuraciones en bastidores tanto indoor como outdoor, microceldas (RBS2301/2), picoceldas con transmisión IP (RBS2409), BTS para cobertura indoor, BTS GSM GPRS y EDGE (RBS2308/9), así como combinaciones con distintos rangos de potencia, número de TRX o sectores por celda.

En cuanto al mapeo entre la señal radio del interfaz Um y los puertos PDH (E1) de salida hacia el interfaz Abis, vamos a tener en cuenta los siguientes criterios:

- Señalización:
  - Si se utiliza multiplexación LAPD podemos tener hasta 4 TRX multiplexados en un único canal o timeslot de 64kbps.
  - Si no se utiliza multiplexación LAPD, cada TRX necesita un timeslot de 64kbps para señalización.
- Tráfico:
  - Cada E1 tiene 32 timeslots de 64kbps, de los que 1 o 2 (TS#0 y TS#16) se utilizan para sincronización y señalización, y los timeslots restantes (hasta 31) se utilizan para tráfico. Cada TRX se carga en 2 timeslots de 64kbps de la trama E1.
- Configuración “Drop & Insert” o encadenación de BTS:

En esta configuración, tendríamos una BTS remota generando varios timeslots de tráfico en su interfaz Abis, cuyo enlace lógico, al pasar por un emplazamiento con otra BTS, se combinaría con el de ésta para generar un

enlace lógico único, donde unos timeslots pertenecerían a la primera BTS, y otros timeslots a la segunda.

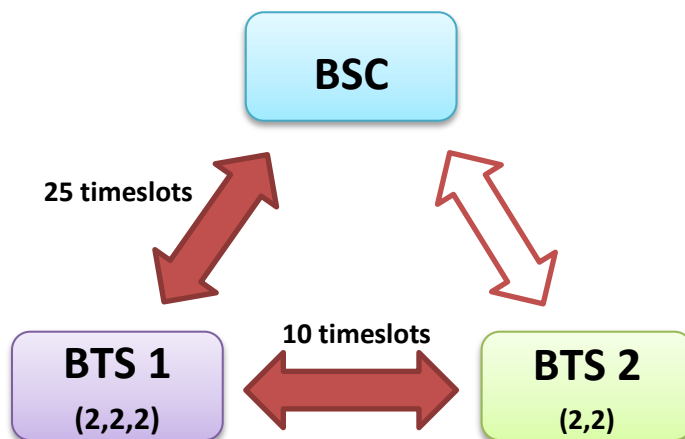


Figura 20: Configuración Drop & Insert

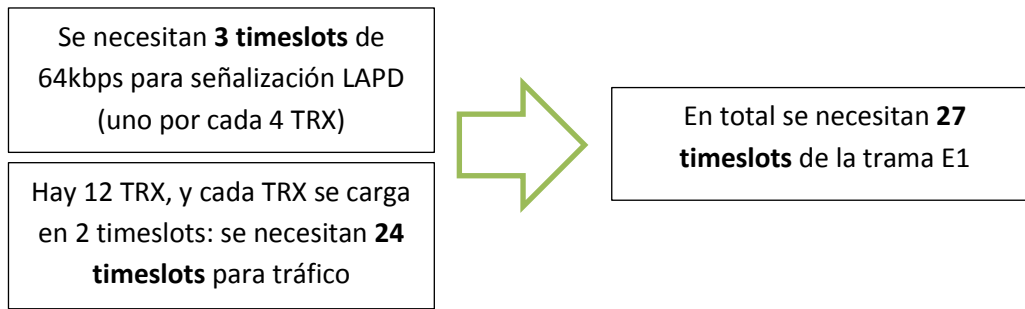
Aunque ya existen mejoras en el envío de tráfico de la BTS hacia el Abis, surgidas a raíz de introducir el concepto de red de paquetes en el Abis (“Packet Abis”), como la “Optimización del Abis” que permitiría enviar el tráfico de dos RBS con hasta 18 TRX utilizando un único circuito E1.

Para entender mejor cómo se realiza el mapeo de timeslots vamos a ver tres ejemplos prácticos, que además nos van a servir para introducir los conceptos de *Estaciones de Cobertura* y *Estaciones de Capacidad*:

- i. Estación Base GSM con configuración 4+4+4

Esta nomenclatura significa que la BTS está sectorizada (3 sectores), y que cada sector dispone de 4 TRX.

Supongamos que disponemos, por ejemplo, de uno de los modelos RBS2206 o RBS2106, que poseen dTRUs (TRU con dos TRX) en sus bastidores, pudiendo contener hasta 6 dTRUs por bastidor. Si estos dTRUs se configuran en modo combinado o “híbrido interno”, entonces tenemos un total de 12 TRX y 6 dTRUs en la BTS. Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente sobre timeslots de señalización y tráfico, tendríamos:



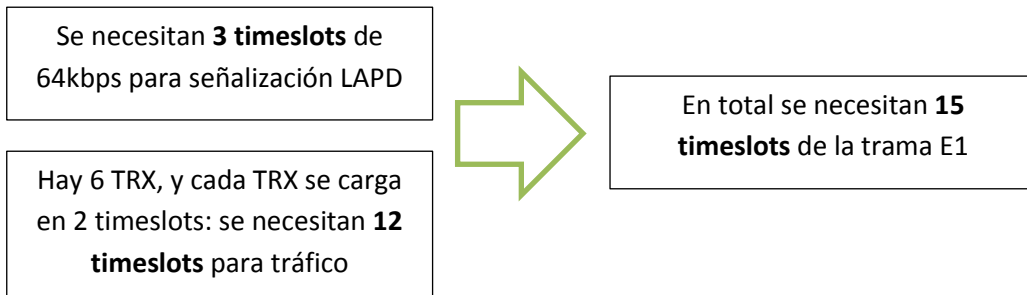
En esta configuración se han aprovechado al máximo los recursos disponibles (TRX), es decir, se ha puesto énfasis en proveer cuantos más TRX por antena como sea posible (aunque será a costa de menor potencia de transmisión y menor radio de la celda). Por este motivo esta estación sería de CAPACIDAD. [6]

ii. Estación Base GSM con configuración 2+2+2

Esta nomenclatura significa que la BTS está sectorizada (3 sectores), y que cada sector dispone de 2 TRX.

En este caso la BTS está utilizando un total de 6 TRX, lo que para los equipos que tienen 6 dTRUs significa que no se está usando el combinador en modo híbrido, es decir, no se combinan los dos TRX de cada TRU en una salida única, sino que se conecta directamente el TRX a la CDU, que sólo tiene tres entradas. Por tanto, sólo emite señal uno de los dos TRX que hay por dTRU, lo que se traduce en mayor potencia de emisión y por tanto en celdas de mayor área de cobertura. En esta BTS, donde se ha dado prioridad a la potencia de salida (y por tanto al radio de la celda) en lugar de al número de TRX en uso, se le llama Estación de Cobertura. Esta opción es interesante porque disminuye el número de BTS necesarias para cubrir una región específica, y por tanto el coste económico. [6]

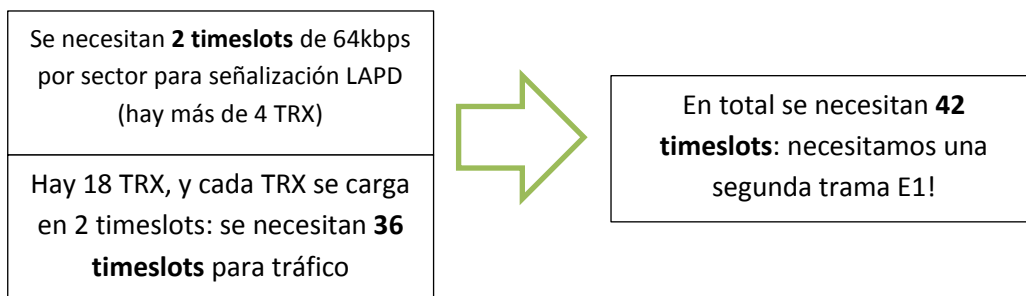
El mapeo del tráfico en los timeslots PDH de salida sería:



iii. Estación Base GSM con configuración 6+6+6

Esta nomenclatura significa que la BTS está sectorizada (3 sectores), y que cada sector dispone de 6 TRX. Estaríamos hablando de otros modelos de RBS puesto que los anteriores tenían un máximo de 12 TRX.

El mapeo sería:



En este caso no es suficiente con asignar un E1 a la BTS, sino que necesitamos dos circuitos E1. Si se quisiera aprovechar los timeslots que quedan vacíos a la salida de la BTS, se podría plantear encadenar otra estación cercana que requiera menos timeslots (hasta 24) mediante la configuración drop & insert.

Hay que tener en cuenta que la capacidad mínima que se instala es de 2Mbps (E1), incluso aunque no todos los timeslots sean utilizados para transportar tráfico y queden vacíos. De esa capacidad de partida se va aumentando los E1s según la necesidad.

### **2.1.3.2. BSC**

La BSC o Controladora de Estaciones Base es el elemento de la red GSM encargado de proporcionar la inteligencia tras las BTSs. Cada BSC puede llegar a controlar decenas o incluso cientos de BTSs (hasta aproximadamente 1000 TRX), de las que gestiona sus recursos radio: asignación, utilización y liberación de las frecuencias, handovers entre BTSs, frequency hopping.

Una función clave de la BSC es la de actuar como concentrador, donde múltiples conexiones de baja capacidad procedentes de las BTSs se reducen a un número menor de conexiones hacia la MSC (centro de conmutación móvil), es decir, hacia la red troncal. Esto hace que las redes habitualmente se estructuren de manera que existan múltiples BSCs repartidas por el territorio, que controlan sus BTSs “cercanas”, y que se conectan a emplazamientos más centralizados donde se encuentra la MSC.

Otras funciones que realiza son:

- Gestión de canales en el enlace BSC-MSC. Indicación de bloqueo.
- Gestión de canales en el enlace BSC-BTS. Asignación de canal.
- Gestión de canales de radio: configuración de los canales radio (que recibe a través del OMC)
- Gestión de secuencia de salto de frecuencia (enviada a la BSC por el OMC).
- Selección de canal, supervisión del enlace radio y liberación de canal.
- Control de potencia en el móvil y control de potencia en la BTS. Determinación del nivel de potencia necesario en cada uno de los transmisores de la BTS.
- Determinación del grupo de aviso, correspondiente a un móvil, y envío de esta información hacia la BTS.
- Determinación de la necesidad de realizar traspaso de canal.

Para algunos suministradores, la BSC no es sólo una controladora, sino un centro de conmutación completo, así como un nodo SS7 con conexiones a la MSC y al SGSN (si se usa GPRS). También proporciona los datos requeridos por el OSS (Operational Support Subsystem) así como a los centros de medidas de funcionamiento.

### 2.1.3.2.1. BSC GSM Ericsson

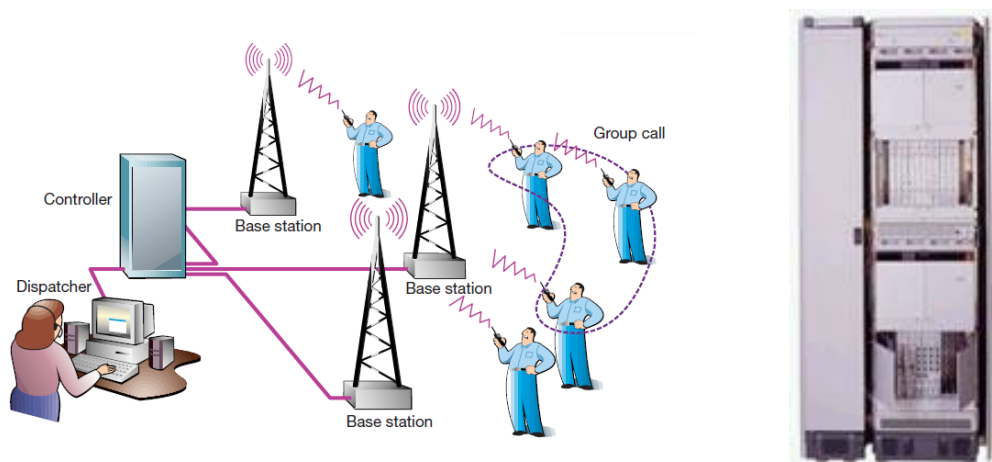


Figura 21: Esquema de la controladora (BSC) y sus BTSs dependientes. Bastidor BSC

La BSC puede configurarse de forma independiente (optimizada para BSS de baja/media capacidad como entornos rurales o suburbanos) o combinada con un controlador transcodificador BSC/TRC (apropiado para aplicaciones de media o alta capacidad, como entornos suburbanos o urbanos). Estos nodos pueden tratar hasta 1020 TRX.

El transcodificador es la unidad que se encarga de realizar la conversión entre los canales de 64kbps que entran a la BSC desde las BTS, a los 16kbps (13kbps Full Rate + 3kbps Enhanced Speech Codec) o los 8kbps (6.5kbps Half Rate + 1.5kbps Enhanced Speech Codec) de cada canal de tráfico.

Los principales componentes hardware que componen la BSC son los siguientes [7]:

- **Conmutador de Grupo (Group Switch, GS):** es la unidad central, conecta un canal entrante con uno saliente. Conmuta un timeslot PCM (MIC) entrante con un timeslot de salida, pudiendo conmutar hasta 64kbps.
- **Terminal Conmutador de Red (SNT):** es el software funcionando en el interfaz (estandarizado) entre el GS y los equipos que se conectan a él.

- **Exchange Terminal Circuit (ETC):** el panel ETC contiene el hardware para manejar los enlaces lógicos PCM entre BSC-MSC (interfaz A) o entre RBS-BSC (Abis), que en nuestro caso son enlaces PDH de 2Mbps (E1). Para enlaces BSC-MSC se utilizan los puertos RALT, mientras que para los enlaces provenientes de las BTS se utilizan los puertos RBLT.

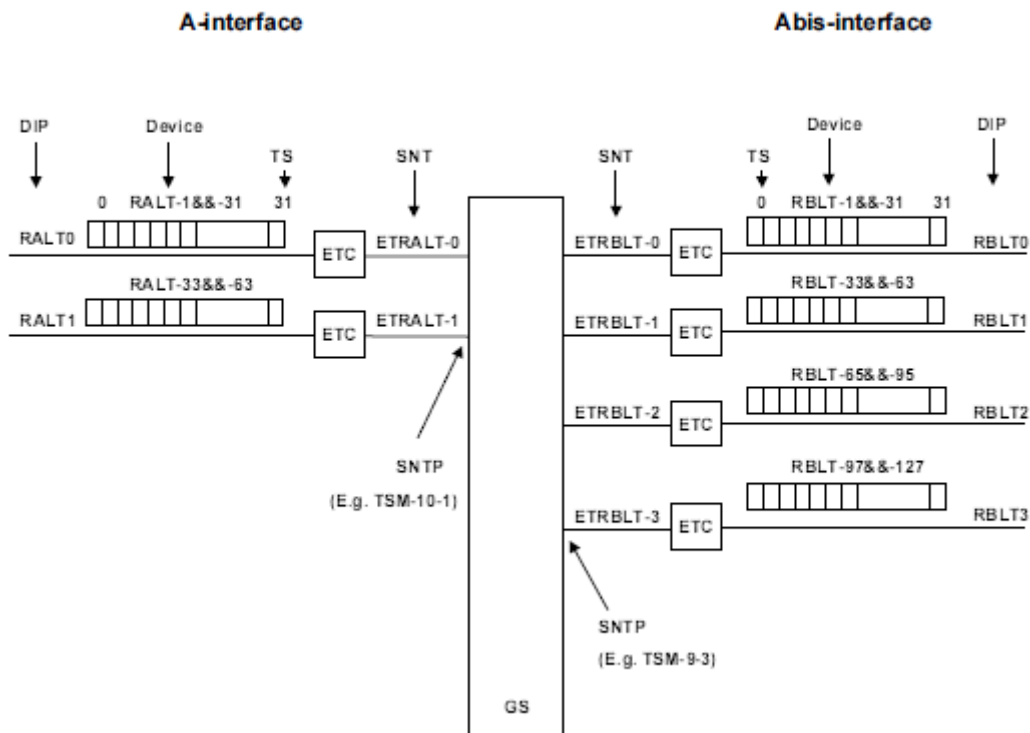


Figura 22: Interfaces ETC - RALT y RBLT

- **RBLT (Radio Transmission and Transport Subsystem A-bis Interface Line Terminal):** es un recurso donde la BSC puede poner/recibir información hacia/desde la BTS, ya sea señalización LAPD o tráfico. Cada timeslot (TS) de 64kbps en un enlace PDH hacia la BTS se llama recurso RBLT, por tanto, existen 32 recursos RBLT por enlace E1.
- **RALT (Radio Transmission and Transport Subsystem A Interface Line Terminal):** es un recurso donde la BSC puede poner/recibir información hacia/desde la MSC, ya sea señalización SS7 o tráfico. Cada

timeslot (TS) de 64kbps en un enlace PCM hacia la MSC se llama recurso RALT, por tanto, existen 32 recursos RALT por enlace E1.

- **Transcoder and Rate Adaptor (TRA):** unidad responsable de la codificación del tráfico de voz y la readaptación del tráfico de voz y datos entrante desde la MSC y la BTS como se explicó algunos párrafos atrás. Realiza otras funciones, como añadir información adicional de control (enhanced speech codec), adapta la tasa de datos (máxima en GSM 9.6kbps por TS) y funciones de transmisión discontinua (DTX).
- **Otros:** Transceiver Handler (TRH), Subrate Switch (SRS), Signal Terminal N7 (ST7), procesadores ...

☞ Existen BSCs con Puertos eléctricos (E1) y también están disponibles con puertos de entrada ópticos (VC12).

### 2.1.3.3. Radioenlaces PDH y SDH

Un radioenlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía ondas radioeléctricas (microondas) de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí, y entre los que debe existir línea de visión directa (LOS: Line of Sight). La transmisión a través de los mismos es dúplex y podemos clasificarlos en varios grupos según distintos criterios:

Según CAPACIDAD	Baja capacidad < 40Mbps Media capacidad Alta capacidad > 100Mbps
Según PROTECCIÓN	Con protección: configuración 1+1 Sin protección: configuración 1+0
Según TECNOLOGÍA	SDH PDH Ethernet Híbrido (Ethernet + PDH)

**Tabla 4: Clasificación de Radioenlaces**



En este apartado la atención se centra en los radioenlaces TDM, ampliamente desplegados en la red de acceso 2G, y que van a existir durante un largo tiempo incluso conviviendo con los radioenlaces Ethernet tras la llegada de las tecnologías 3G.

Antes de nada, véase las características de la transmisión radioeléctrica respecto a la tradicional transmisión cableada, y sus ventajas e inconvenientes:

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Son más baratos que los medios de transmisión por línea: van por el aire	Su funcionamiento y uso queda restringido a tramos con visibilidad directa (LOS)
Instalación rápida y sencilla: no requiere realizar obra civil y tendido en subsuelo, sólo hay que instalar equipos en extremos	Saturación del espectro radioeléctrico disponible a la larga, pues las frecuencias disponibles para este uso son limitadas y se acaban produciendo interferencias entre radioenlaces cercanos
Medio de transmisión fiable si el diseño está bien hecho	Alta dependencia de elementos externos: árboles, edificios, climatología adversa (desvanecimiento por lluvias...)
Mantenimiento fácil y rápido	

**Figura 23: Ventajas e inconvenientes de la transmisión radioeléctrica respecto a la transmisión cableada**

La mayor ventaja que presentan los radioenlaces es la rapidez de despliegue y el ahorro en obra civil que habría que llevar a cabo para soterrar la transmisión cableada. Por este motivo constituyen el medio de transmisión más implantado en la red de telefonía móvil.

Un radioenlace permite ofrecer protección ante fallos mediante la configuración 1+1, que suele utilizarse sólo en casos en los que existe mucho tráfico a través del mismo, en los que en caso de corte conllevaría la caída de múltiples estaciones y nodos.

Un radioenlace está compuesto por los siguientes elementos:

- **IDU (Indoor Unit):** Es el equipo que se encuentra en la caseta o bastidor a nivel del suelo, que permite la monitorización y control del radioenlace y soporta la interfaz con el usuario. Se encarga de procesar la señal en frecuencia intermedia (IF), multiplexar/demultiplexar, modular/demodular las señales que entran y salen del mismo desde y hacia otros equipos (tiene los puertos necesarios para ello). La IDU es la misma para todas las bandas de funcionamiento del radioenlace, pues sólo hace el procesado en IF, mientras sí varía en función de la capacidad PDH que queremos que ofrezca (2x2, 4x2, 8x2, etc.).

- **Cable de IF** coaxial o multipares de frecuencia intermedia: se encarga de transportar la señal IF entre la IDU y la ODU, además de las señales de gestión y alimentación de la ODU.
- **ODU (Outdoor Unit):** Procesa la señal que llega en IF desde la IDU, la procesa y convierte en señal de radiofrecuencia, es decir, la traslada a un canal de radio y la envía por una guíaonda hacia la antena parabólica. La ODU puede estar montada sobre la parábola o separada, unida a la antena mediante una corta guíaonda.
- **Antena parabólica:** se trata de un elemento pasivo, sólo radia la señal proveniente de la ODU hacia el otro extremo del radioenlace, proporcionando un diagrama de radiación muy directivo e incrementando la ganancia de la señal.

Dados estos elementos, las posibles configuraciones de un radioenlace son las mostradas en la Figura 24.

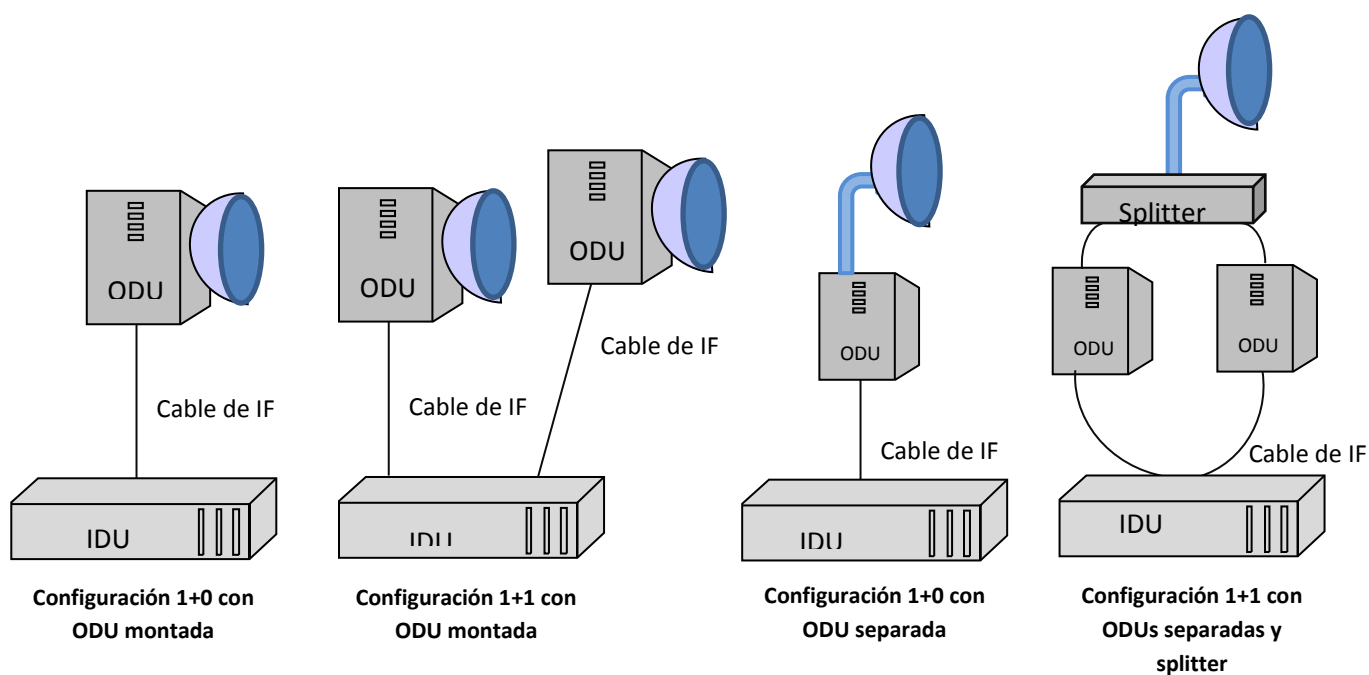


Figura 24: Configuraciones que puede presentar un radioenlace (se representa un extremo)

### 2.1.3.3.1. Radioenlace PDH SRAL de Siemens

Dentro de los SRAL desarrollados por Siemens, la familia SRAL XD son sistemas de microondas de baja capacidad, alta flexibilidad y coste asequible, que proveen conectividades desde 1 a 32xE1 PDH en las bandas de frecuencia en el rango de 7 a 38GHz. Por ello, son adecuados para cubrir las necesidades de interconexión de estaciones base GSM.

Ventajas y características:

- Interconexión fácil y rápida entre radiobases GSM/UMTS.
- Fácil Integración del sistema en la DCN (gestión) a través de Ethernet.
- Posible y simple upgrade del ancho de banda de canal RF vía SW (ODU tipo HD).
- Reducción efectiva de interferencia a bajas frecuencias gracias a ATPC<sup>3</sup>.
- Solución rentable y alternativa a líneas dedicadas.
- Alta confiabilidad de servicio.
- Fácil de instalar.
- Calidad mejorada y monitorización de desempeño.
- Upgrade de capacidad simple y lista para operar en ambiente UMTS.
- Total cobertura de las bandas desde los 7 hasta los 38 Ghz - incluyendo la banda de 28Ghz.
- Disponibilidad de dos tipos de ODU: tipo Normal Density fijo o tipo High Performance High Density con modulación seleccionable.
- Control de potencia de transmisión fijo y automático (ATPC).
- Tres versiones de IDU: compacto (Single Board), expandible/flexible (Plug-In) y equipo Fully Outdoor.
- Disponibilidad de interfaz E3, 10/100 BT (en IDU tipo Plug-in).

Otros equipos similares son el SRA-L.

---

<sup>3</sup> Adaptive Transmission Power Control o Control de Potencia de Transmisión Adaptativo. Cada nodo construye un modelo para cada extremo remoto que describe la correlación entre la potencia de transmisión y la calidad del enlace, de manera que puede realizarse un control de potencia dinámico para mantener la calidad de cada enlace individual a lo largo del tiempo.

### **2.1.3.3.2. Radioenlace Mini-Link™ E de Ericsson**

Mini-Link™ E es la solución de microondas punto a punto, de capacidad media, desarrollada por Ericsson, y está diseñada para operar en cualquier tipo de red gracias a que posee interfaces estandarizados. Se trata de un equipo compacto y fiable, y cuando salió al mercado su tecnología era muy avanzada.

Puede configurarse para proporcionar radioenlaces desde 2xE1s (2x2) hasta 17xE1s (17x2), operando en las bandas de frecuencia desde los 7 a los 38GHz. Además, puede integrarse en cualquier topología de red: estrella, árbol o anillo.

Para disponer de protección, los radioenlaces pueden configurarse como 1+1 o como estructura en anillo.

En cuanto a su configuración, permite disponer de una versión con IDU y ODU separadas (módulo de acceso indoor con las unidades de capacidad y unidad radio con antena outdoor que contiene las unidades relacionadas con la frecuencia), conectadas mediante el cable IF (coaxial). En esta versión la capacidad de tráfico es configurable por software, facilitando la expansión de la red sin requerir cambios hardware. También permite una versión totalmente outdoor, que es un equipo compacto llamado Mini-Link E Micro, y que acoge todos los componentes de transmisión eliminando la necesidad de infraestructura indoor.

La Unidad Interfaz Ethernet (ETU) es opcional y permite la interconexión de LANs a través de saltos Mini-Link. Esto se va a ver con más detalle al tratar los radioenlaces Ethernet en el Capítulo 4 (pág. 167).

La funcionalidad de crossconexión que incorporan (unidad MXU), soporta la conmutación de protección para configuraciones en anillo, una granularidad de nivel de timeslot (64kbps) y gestión integrada, por lo que es compatible con la familia de equipos DXX Ericsson. (Ver ejemplo en Capítulo 6, pág. 216).

La gestión del Mini-Link como elemento de red se realiza a través de un potente gestor para realizar O&M de forma remota y centralizada. Puede utilizarse como un sistema independiente o integrado en un Sistema de Gestión de Red (NMS) utilizando el interfaz SNMP estándar.

### 2.1.3.4. Equipos SDH multiplexores y demultiplexores

Los equipos SDH que se instalen en la red deben ser capaces de realizar las tareas de “add-drop multiplexer”, es decir, deben multiplexar las señales E1 PDH a su entrada en tramas SDH STM-N (habitualmente N será 1 o 4 en la red de acceso) a la salida, y viceversa. Además, deben tener la capacidad de extraer/insertar canales de forma individual, sin tocar el resto de canales que conforman la trama STM-1.

#### 2.1.3.4.1. SMX de Alcatel-Lucent

El SMX es un equipo multiplexor SDH-SONET usado en las redes de transmisión de datos, que proporciona altas velocidades de transmisión de manera flexible. SMX corresponde a las siglas de SONET Multi-Application Network Element.

Por tanto, SMX es un equipo multi-aplicación que soporta las distintas estructuras de trama SDH (STM-1, STM-4, STM-16) y dispone de interfaces estándar variados para facilitar y agilizar el despliegue.

Este equipo se diseñó para proveedores de servicios que requerían velocidades de entrega desde el E1 (VC-12) hasta el STM-1 y velocidades de línea de hasta 2.5Gbps (STM-16), por lo que es adecuado para redes de acceso metropolitanas y también en la red troncal.



**Figura 25: Vista de un Multiplexor SDH: SMX de Alcatel-Lucent**

En la práctica, los SMX se utilizan para transportar tributarios a través de largas distancias (E1s de BTSs hasta la BSC), obteniendo una red troncal de acceso SDH de

alta capacidad y velocidad, con posibilidad de topologías en anillo para proporcionar protección a dichos tributarios. En la definición de enlaces lógicos E1 suelen definirse tramos de protección de forma adicional a la ruta principal, a través de la otra “pata” del anillo SDH.

Además, dado su elevado número de interfaces E1, en ocasiones se utiliza como equipo intermedio entre otros con menos puertos, en cuyo caso el tramo de fibra SDH no recorre una larga distancia sino que se limita a conectar el SMX a otro equipo agregador coubicado, por ejemplo un equipo MPLS (se verá más adelante).

### ***2.1.3.5. Conexiones Físicas Locales***

Una conexión o enlace local, como su nombre indica, es una unión física que se establece entre dos equipos situados en la misma localización (emplazamiento). A menudo cuando se va a establecer un enlace lógico para un elemento tipo nodo B o BTS, es necesario realizar varias de estas conexiones en algunos puntos de la ruta de datos con el fin de dar continuidad a la información.

Para ello, todos los equipos que componen la red disponen de tarjetas y puertos de distintas tecnologías. Según las funcionalidades del equipo, actualmente los puertos habituales son:

- Puertos E1 (2.048Mbps) eléctricos full-dúplex.
- Puertos FE (100Mbps) eléctricos y ópticos full-dúplex.
- Puertos GE (1000Mbps) eléctricos y ópticos full-dúplex.
- Puertos STM1 (155Mbps) ópticos full-dúplex.

Por lo tanto los puertos pueden ser ópticos, que se interconectan mediante latiguillos de fibra óptica y módulos SFP (Small Form-Factor Pluggable) ópticos situados en dichos puertos, o eléctricos, interconectados utilizando par trenzado o cruzado de cobre e interfaces RJ-45.

### ***2.1.3.6. Enlaces Lógicos. Proceso de establecimiento.***

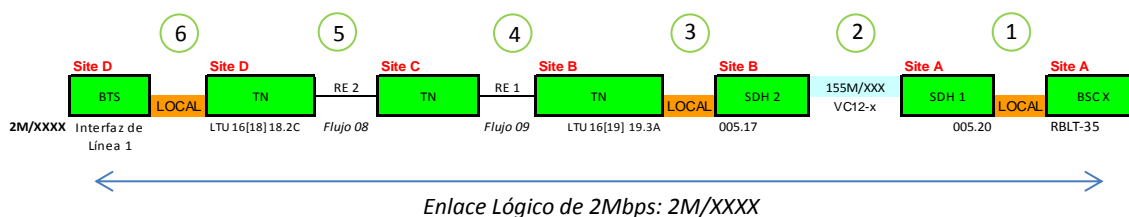
Un enlace lógico es la ruta extremo a extremo que sigue el tráfico entre la Estación Base y su BSC correspondiente. En GSM, la transmisión de la voz y los datos

recogidos por las BTS hasta la BSC se realiza utilizando circuitos estáticos, definidos a través de la red de transmisión, que usan Time Division Multiplexion. Cada Estación debe poseer sus propios enlaces lógicos y recursos en la red, que no se comparten con otras.

En la gran mayoría de los casos, los enlaces lógicos están formados por varios tramos o enlaces físicos a lo largo de kilómetros de distancia: radioenlaces, enlaces locales, equipos SDH, tramos de fibra óptica (VC12 dentro de jerarquías ópticas), etc.

La tarea de establecer un enlace lógico conlleva un trabajo en equipo de varios componentes del departamento de red de la operadora propietaria de la red:

- 1) El equipo de ingeniería de transmisión define la ruta que deberán seguir los datos desde la BTS hasta la BSC, especificando el enlace tramo a tramo, los puertos utilizados en cada equipo atravesado, los flujos usados en los radioenlaces, los VC12 en las jerarquías ópticas y, finalmente, la RBLT de la BSC correspondiente a la que debe llegar el enlace lógico.
- 2) Los técnicos de campo realizan las interconexiones físicas necesarias a lo largo de la ruta, así como las reconfiguraciones en local si se requiere, reservando así los recursos para la posterior definición del enlace lógico.
- 3) Por último, el departamento de O&M establece en remoto el enlace lógico, que comienza a transportar tráfico de la BTS a la BSC y viceversa.
- 4) Mantenimiento: monitorización, ampliación, corrección de fallos, etc. El trabajo posterior conlleva el control de todos los elementos y enlaces establecidos en la red, para garantizar su correcto funcionamiento. Esta tarea de mantenimiento suele realizarse en remoto, aunque puede ser necesario también un mantenimiento en local.



**Figura 26: Esquema del enlace lógico (E1) de una BTS**

En la Figura 26 se puede ver de forma esquemática la ruta de un enlace lógico de 2Mbps desde la BSC origen hasta la BTS destino. Las cajas verdes simbolizan emplazamientos y/o equipos, las líneas sencillas son radioenlaces, las líneas naranjas (“LOCAL”) serían enlaces físicos locales a realizar y, por último, la línea en azul “155M” corresponde a un tramo de fibra óptica a través del cual hay establecida una jerarquía SDH. Al enlace lógico lo podemos llamar por convenio 2M/XXXXX (donde XXXXX varía desde 00000 a 99999, pudiendo utilizar más o menos dígitos según pensemos tener más o menos enlaces), almacenándose en una base de datos cada enlace lógico en funcionamiento junto con su topología. De esta forma dispondremos del inventario de todos los enlaces existentes en nuestra red junto con los recursos que están ocupando, lo que nos permite hacer modificaciones en la topología, conocer la capacidad que queda libre en los radioenlaces y jerarquías ópticas, los puertos libres y ocupados en cada equipo, etc. De igual forma, también se numeran las jerarquías ópticas, los radioenlaces, los equipos (cada tipo de equipo tiene su propia numeración), las BTS, las BSCs, etc.

En el caso de la Figura 26, tenemos un enlace lógico que atraviesa un total de 6 tramos físicos:

- 1) *BSC – Equipo SDH*: es una conexión física eléctrica local (ambos equipos están coubicados en el site A) entre el puerto E1 005.20 del equipo SDH y la RBLT-35 de la BSC X.
- 2) *Equipo SDH – Equipo SDH*: el tramo se define por la jerarquía óptica entre ambos equipos SDH a través de fibra óptica y por el contenedor virtual VC12 (número entre 1 y 63) que va a ocupar el enlace lógico de 2Mbps a través de la misma.



- 3) *Equipo SDH-Traffic Node*: es una conexión física eléctrica local entre un puerto E1 del equipo SDH (el 005.17) y un puerto E1 del TN (puerto 3A de la tarjeta LTU16 instalada en la ranura 19 del TN).
- 4) *Radioenlace 1 (TN)*: en este tramo al enlace lógico se le asigna uno de los “flujos” E1 que tenga libres el radioenlace. Se trata de una conexión de microondas por el aire.
- 5) *Radioenlace 2(TN)*: es similar al tramo 4, al enlace lógico se le asigna un “flujo” E1 libre a través del radioenlace, por el que circula en forma de señal de microondas por el aire. Hay que tener en cuenta que en el equipo TN situado entre los RE1 y RE2 no ha sido necesario realizar conexiones físicas. Esto es así ya que el mismo TN es origen de uno y destino del otro, y la crossconexión entre los flujos de ambos se hace internamente en el equipo. Si en el Site C hubiésemos tenido que cambiar a otro tipo de radioenlace (SRAL por ejemplo), habría sido necesario realizar la conexión física local entre el TN y dicho equipo.
- 6) *Traffic Node – BTS*: por último, hay que realizar la conexión física eléctrica en el site D, entre un puerto E1 del TN (puerto 2C de la tarjeta LTU16 instalada en la ranura 18 del TN) y uno de los Interfaces de Línea (E1) de la BTS.

Por convenio, se considerará que el origen del enlace lógico es el elemento de más peso en la ruta, es decir, la BSC. Desde ese punto comenzamos a numerar los tramos hasta llegar al destino del enlace, la BTS. En cada tramo independiente, el criterio para identificar el origen y el destino es el mismo: el origen es el extremo más cercano a la BSC, y el destino el extremo más cercano a la BTS.

## **CAPÍTULO 3**

### **AUGE DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC) Y NUEVAS DEMANDAS DE MERCADO: NECESIDAD DE EVOLUCIÓN DE LA RED DE ACCESO HACIA ALL-IP**

---

En capítulos anteriores se ha justificado las tecnologías y medios usados para desplegar la primera red de transmisión digital que daría soporte al servicio GSM. Ésta, teniendo como objetivo el transporte de señales digitalizadas de naturaleza vocal principalmente y transmisiones de datos lentas, se desplegó utilizando sistemas basados conmutación de circuitos y Multiplexación por División en el Tiempo o TDM, como las Jerarquías Digitales Plesiócrona (PDH) o Síncrona (SDH).

También se tuvo en cuenta el abanico de equipos disponibles en el mercado en el momento de realizar el despliegue, hacia mediados de los años 90 tras producirse la liberalización del sector de las telecomunicaciones en España y la consiguiente entrada de otras operadoras al país, Airtel Móvil S.A. entre ellas (precursora de Vodafone). Los equipos más populares en aquel momento provenían básicamente de manufacturas europeas de larga trayectoria como Ericsson (Suecia), Siemens (Alemania) o Alcatel (Francia). En cuanto a funcionalidades, los equipos utilizados en la red de transmisión abarcaban principalmente radioenlaces PDH y SDH, cros conectores digitales (DXX), multiplexores y demultiplexores SDH.

Por lo tanto, en el comienzo de la telefonía móvil y hasta el reciente surgimiento de los dispositivos inteligentes o smartphones, USBs 3G, tabletas, etc. las primeras redes TDM desplegadas presentaban anchos de banda suficientes para satisfacer las necesidades de demanda de los usuarios. Esto era así hasta tal punto que la parte de la red de acceso encargada del transporte o transmisión de la información desde las estaciones base hasta los centros de conmutación, ocupaba un segundo plano en lo que se refiere a la gestión y dimensionamiento de la misma. No ha sido hasta hace algunos años cuando la red de acceso móvil ha adquirido mayor peso y por tanto ha requerido una mayor atención por parte de los ingenieros encargados de mantener, ampliar y optimizar la red.

Desde el año 2000, cuando se produjo la llegada de las tecnologías de Tercera Generación al campo de las comunicaciones móviles, hasta nuestros días, se han producido numerosos avances en todos los ámbitos del sector que han abierto la puerta a un universo de nuevos servicios y aplicaciones multimedia, dispositivos inteligentes (smartphones) y, en general, gran cantidad de servicios de valor añadido que han requerido mayores recursos de red para ofrecer un funcionamiento óptimo. Por otra parte, se espera el despliegue e implantación de las tecnologías de Cuarta Generación en

un futuro más o menos próximo, que prometen ofrecer anchos de banda por usuario móvil de 100Mbps.

En esta tesitura, hace algunos años que las operadoras se dieron cuenta de que comenzaban a existir limitaciones a la hora de ampliar los recursos disponibles en la red o simplemente hacer un uso más eficiente de los mismos, debido a su naturaleza estática TDM. Por tanto, se hace necesario planear y llevar a cabo nuevas estrategias en lo que a despliegue y tecnologías de red se refiere, con el fin de dar un servicio de excelencia a los clientes y mantenerse en una posición competitiva dentro de un mercado dinámico y cada vez más exigente como es el de las comunicaciones móviles.

Este cambio está consistiendo básicamente en migrar las redes TDM hacia una filosofía full-IP (todo IP), lo que va a permitir llegar a una situación de convergencia entre las redes de datos fijas y las redes móviles: los usuarios podrán hacer uso de cualquier servicio en cualquier momento y cualquier lugar. Lógicamente, este hecho ha venido acompañado de una respuesta por parte de los fabricantes de equipos de red, que han desarrollado toda una nueva gama de dispositivos capaces de adaptarse a la rápida evolución de las tecnologías de transmisión. Hablaremos de la oferta de equipos por parte de los principales suministradores, así como de sus características, a lo largo de este capítulo.

### **3.1. Evolución del Mercado de las Comunicaciones Tras el Boom Digital**

En este capítulo se va a hacer un mayor análisis de la situación que atraviesan las comunicaciones móviles en la actualidad, con el fin de comprender la razón de esta evolución. Van a entrar en juego varios factores o antecedentes:

#### **3.1.1. Era de la información y Economía del conocimiento**

Los años posteriores a 1990 se han dado en llamar la Era de la Información: se introdujo la World Wide Web (WWW) y se produjo la proliferación de las nuevas tecnologías y la expansión de la infraestructura de Internet por el mundo, atravesando los países occidentales y tratando de penetrar en algunos otros en vías de desarrollo. Así se creó la moderna red de computadores que conocemos hoy en día y que permite un acceso mundial a información y comunicación sin precedentes. Además, se extiende Ethernet como nueva forma de transporte de información que optimiza el ancho de banda, a un bajo coste y con alta flexibilidad.

La posibilidad de estar interconectado con cualquier lugar del mundo a través de computadoras (por otro lado cada vez más potentes) supuso una revolución y alteró la economía del mundo entero. Dicho de otra forma, a partir del desarrollo de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones, los mercados financieros se fueron globalizando e intercomunicando, de manera que pasaron a formar un mercado global e interdependiente, operado por redes informáticas en tiempo real. Estas transformaciones generan nuevas reglas de juego que proporcionan el capital necesario para financiar nuevos proyectos empresariales y están en el origen del desarrollo de las empresas de Internet, y de la nueva economía en general. Este escenario creó muchas expectativas sobre lo que se podía esperar de Internet y las empresas vinculadas durante los últimos años de la década de los 90, lo que se denominó “Burbuja de las Punto Com”. Esta situación de rápido y (aparentemente) ilimitado crecimiento no era sostenible, y terminó por estallar en el año 2000, llevando a una crisis del sector que se prolongó algunos años.

Sin embargo, a pesar de esto, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ya estaban arraigadas en la sociedad y las economías occidentales y

capitalistas, jugando un papel vital en ellas. Tanto es así que la llamada “economía del conocimiento”<sup>4</sup> es una parte muy importante del desarrollo de los países. La globalización, que rige la mayoría de empresas en el mundo contemporáneo, también ha sido posible gracias a las nuevas tecnologías.

En el sector de las comunicaciones particulares/personales también se ha convertido en algo imprescindible disponer de acceso a las nuevas tecnologías y a Internet (fijo y/o móvil), creándose a menudo una brecha social o “brecha digital” entre aquellas personas que las utilizan y las que no.

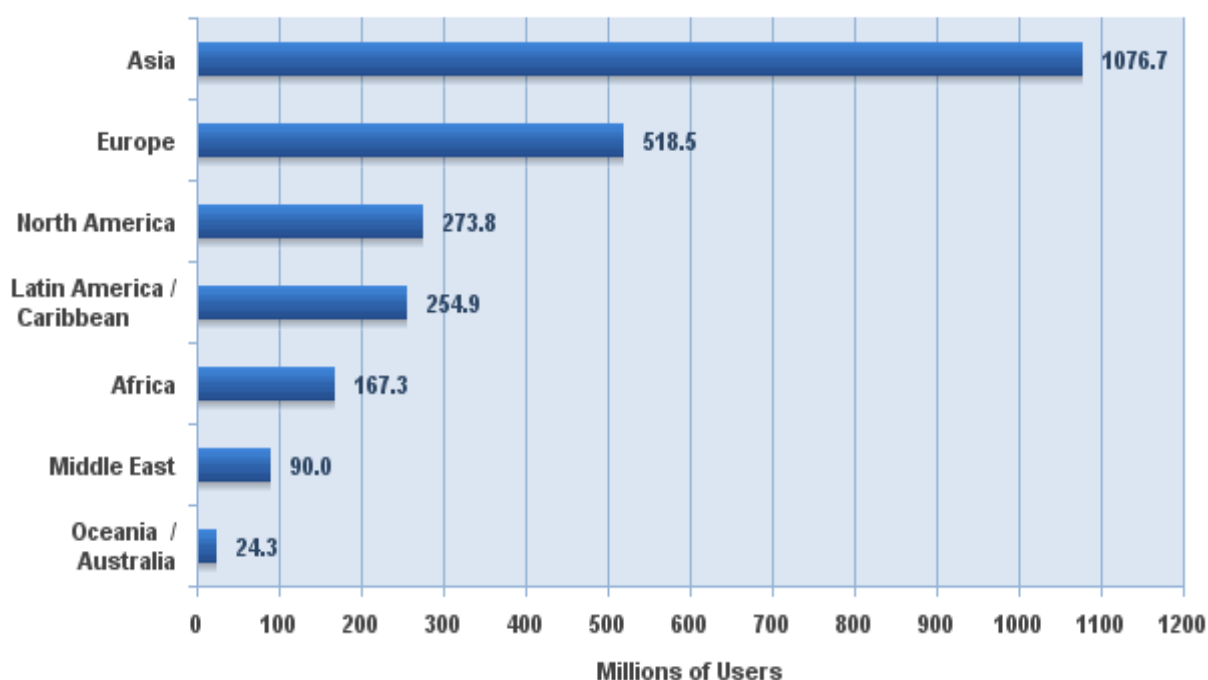


Figura 27: Usuarios de Internet por continentes (2012) [22]

<sup>4</sup> Se trata del sector de la economía que utiliza el conocimiento como elemento fundamental para generar valor y riqueza por medio de su transformación a información, creando valor añadido en los productos y servicios en cuyos procesos de creación y transformación participa. Abarca campos como la educación, investigación y desarrollo, alta tecnología, informática, telecomunicaciones, robótica, nanotecnología e industria aeroespacial.

En la Figura 27 se muestra el número estimado de usuarios de Internet en función de la región geográfica (datos del segundo trimestre de 2012). En la Figura 29 lo que se representa es la penetración de Internet en cada región (datos del segundo trimestre de 2012).

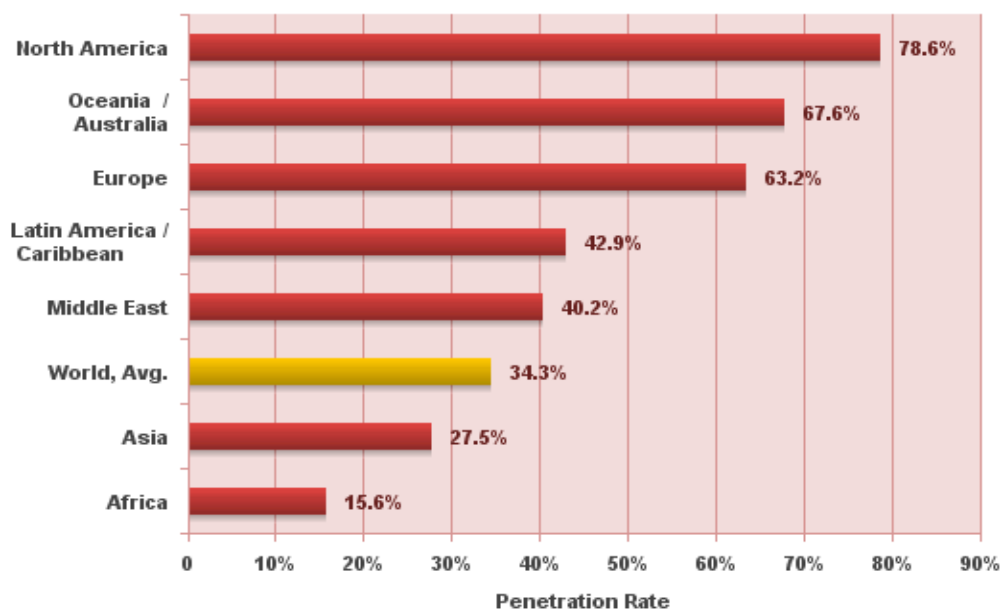


Figura 29: Tasa de penetración de Internet por continentes (2012)

Como se puede comprobar en la Figura 29, en las regiones más desarrolladas (Norteamérica, Australia y Europa) los porcentajes de penetración de Internet son muy elevados, bastante por encima del 50%, lo que significa que más de la mitad de la población dispone de acceso a Internet. En el resto de regiones la tasa es menor, pero se encuentra en crecimiento, como podemos comprobar en la Tabla 5.

USO MUNDIAL DE INTERNET Y ESTADÍSTICAS DE POBLACIÓN (30 JUNIO, 2012)						
Regiones Geográficas	Población (2012 Est.)	Usuarios Internet (Dic. 31, 2000)	Usuarios Internet (Últimos Datos)	Penetración (% Población)	Crecimiento (2000-2012)	% respecto a los usuarios totales
África	1,073,380,925	4,514,400	167,335,676	15.6 %	3,606.7 %	7.0 %
Asia	3,922,066,987	114,304,000	1,076,681,059	27.5 %	841.9 %	44.8 %
Europa	820,918,446	105,096,093	518,512,109	63.2 %	393.4 %	21.5 %
Oriente Medio	223,608,203	3,284,800	90,000,455	40.2 %	2,639.9 %	3.7 %
Norteamérica	348,280,154	108,096,800	273,785,413	78.6 %	153.3 %	11.4 %
América Latina/Caribe	593,688,638	18,068,919	254,915,745	42.9 %	1,310.8 %	10.6 %
Oceanía / Australia	35,903,569	7,620,480	24,287,919	67.6 %	218.7 %	1.0 %
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>7,017,846,922</b>	<b>360,985,492</b>	<b>2,405,518,376</b>	<b>34.3 %</b>	<b>566.4 %</b>	<b>100.0 %</b>

Tabla 5: Usuarios de Internet en el mundo y estadísticas de población (2012)

Como vemos, aproximadamente una tercera parte de la población mundial accede a Internet, ya sea a través de dispositivos móviles o redes fijas.

Para tráfico de datos móviles en concreto y para hacernos una idea del ratio de crecimiento de utilización de este servicio en los últimos años, baste mencionar que según el Informe CISCO VNI (Visual Networking Index) sobre Tráfico Global de Datos Móviles 2010 – 2015 publicado en 2011 (aproximadamente el momento en que se decidió comenzar la migración de la red de acceso móvil a IP): “El tráfico mundial de datos móviles crecerá 26 veces entre 2010 y 2015, lo que supone una tasa de crecimiento interanual del 92 por ciento en dicho período”, “En 2015 habrá 788 millones de usuarios de Internet móvil, lo que supone su multiplicación por 56, desde los 14 millones a finales de 2010 a 788 millones a finales de 2015” [8].

En definitiva, las TIC se han convertido en los últimos años en importantes motores de la economía de los países desarrollados y también han revolucionado las comunicaciones interpersonales y el acceso a cualquier contenido que el usuario necesite consultar.

Todo lo expuesto anteriormente explica las razones por las que constantemente se trata de buscar estándares, protocolos, formas y medios de transmisión de datos más eficientes y rápidos, y por qué el protocolo IP de las redes de Internet ha sido el elegido a la hora de modernizar las redes de transporte de información.

El resultado de esta evolución en el sector de las comunicaciones móviles se ha visto reflejado en el desarrollo de las tecnologías 3G (y 4G) y la incorporación de los conceptos de IP, Ethernet y MPLS a las redes de transmisión.

### **3.1.2. Necesidad de mayor ancho de banda y nuevos estándares**

Las redes de datos fijas hace años que comenzaron a ofrecer nuevos servicios (además de voz y correo electrónico) y comunicaciones a altas velocidades con la llegada de la Banda Ancha (desde los 128kbps de la RDSI-BA, pasando por el ADSL, hasta los 100Mbps que permite el Cable módem), que además propició el auge de Internet y las redes IP basadas en conmutación de paquetes.



Algunos de estos servicios son:

- Pagos electrónicos
- Telemedicina
- Chat y mensajería instantánea
- Videoconferencias
- Descarga o streaming de música y video
- Juegos online
- Banca electrónica

En telefonía móvil, las operadoras se dieron cuenta de lo interesante que sería incorporar estos servicios a sus clientes. Surge así la necesidad por parte de las mismas de incorporar servicios avanzados de transmisión de datos, complementando los servicios de voz con los de datos en movilidad. Sin embargo, con esta perspectiva de futuro, la tecnología GSM y la red existente presentaban varias limitaciones:

- GSM estaba diseñada para voz, ofreciendo al usuario velocidades máximas de transmisión de datos de 9.6kbps en downlink.
- Las comunicaciones de datos se limitan a mensajes cortos (SMS) y otros de baja velocidad (fax)
- No es un estándar global, por lo que los dispositivos no pueden funcionar en algunas regiones del mundo
- El ancho de banda disponible por cada BTS en el interfaz Abis está limitado a uno o dos circuitos estáticos E1, es decir, a 2 o 4Mbps a repartir por todos los usuarios que necesiten acceder.
- La red GSM está basada en conmutación de circuitos mientras que lo ideal para transportar datos es la conmutación de paquetes, dada su naturaleza a ráfagas.

Los estándares GPRS (2.5G) y EDGE (2.75G) fueron aproximaciones hacia las redes de datos desde el estándar GSM, del que se consideran evoluciones, ya sea por mejora del canal físico (EDGE) o por mejora en el uso que se hace de los recursos radio (GPRS). Sin embargo, hasta la llegada de la Tercera Generación no se resolvieron las limitaciones completamente.

Las ventajas de GPRS y EDGE es que permitían seguir explotando la infraestructura GSM existente mientras incorporaban mejoras. La tecnología 3G, en

cambio, requería la implantación de algunos nuevos elementos, pues su arquitectura es diferente.

### **3.1.3. Proliferación del “Smartphone”**

La evolución que han sufrido los teléfonos móviles en los últimos años ha sido más que notable. Aunque los primeros teléfonos móviles ya se comercializaban en los años 80, la década de los 90 supuso un antes y un después, con la comercialización de teléfonos más pequeños y asequibles económicamente que los primeros. Estos dispositivos sólo permitían realizar llamadas y enviar/recibir SMS, aunque poco a poco fueron incorporando nuevas funcionalidades como juegos, MMS, acceso a WiFi, WAP, etc. La tendencia inicial fue la de hacer teléfonos cada vez más pequeños y manejables, con pequeñas pantallas en “blanco y negro” e interfaces de usuario bastante simples y limitados.

Sin embargo, la creciente demanda de acceso a servicios de datos (permitido por los estándares 3G), junto con los avances tecnológicos en el campo de la electrónica aplicada al sector de los móviles, que permitía una mayor integración de componentes y funciones en dispositivos de tamaño reducido, dio lugar a los llamados teléfonos inteligentes o “Smartphones” alrededor del año 2007. Un Smartphone es básicamente un teléfono móvil construido sobre una plataforma informática móvil, que dispone de una mayor capacidad de almacenamiento de datos (varios Gigabytes), una gran pantalla en color, habitualmente táctil, desde la que se permite al usuario acceder (en función multitarea) a multitud de aplicaciones y servicios (desde los propios del teléfono hasta numerosos programas y aplicaciones descargables): llamadas, videoconferencia, envío SMS y MMS, acceso a Internet vía WiFi o 3G, navegación web, correo electrónico, GPS, cámara de fotos y video, juegos, Bluetooth, reserva y compra online, radio FM, reproducción de música mp3 y video, calculadora, acceso a redes sociales, ver documentos PDF, Office Word y Excel, etc. Podría decirse que un Smartphone es un ordenador de bolsillo, que incluso reemplaza a los PCs en muchas ocasiones.

Las numerosas funcionalidades de los smartphones, además de su habitualmente atractivo diseño, han hecho de estos dispositivos todo un éxito de ventas. A

continuación se muestran algunos datos sobre venta de móviles en general y smartphones en particular, según un estudio [9]:

- El número total de dispositivos móviles vendidos ascendió a 1.75 mil millones en 2012, y se espera en que en 2013 ese número alcance los 1.9 mil millones.
- Se vendieron 207.7 millones de smartphones en el mundo en el último trimestre de 2012, lo que supone un crecimiento del 38.3% respecto al mismo periodo de 2011. Se espera que en 2013 el número total de smartphones vendidos alcance los mil millones, superando así a los móviles básicos (no smartphone).
- Se vendieron 264.4 millones de teléfonos móviles básicos en el mundo en el último trimestre de 2012, lo que supone una reducción del 19.3% respecto a 2011, y se espera que su venta siga decreciendo en 2013 hasta llegar a los 900 millones.
- Los tres principales fabricantes de móviles fueron, por orden de ventas: Samsung (384 millones, 53.5% de ellos smartphones), Nokia (333 millones, 12% smartphones) y Apple (130 millones, 100% smartphones). Si nos fijamos en el crecimiento interanual de unidades vendidas, el primero en el ranking sería Samsung, seguido por Apple y Huawei.

Los smartphones requieren la disponibilidad de mayores anchos de banda para ofrecer la mejor experiencia de usuario posible incluso cuando se encuentran en estado de espera, pues siguen generando tráfico con frecuencia para comprobar y descargar actualizaciones, recibir notificaciones de correo y otras aplicaciones, etc. Ante el rápido crecimiento en el número de smartphones ha sido necesario realizar importantes ampliaciones y/o modificaciones en la red de acceso móvil, siendo otro de los motivos por los que se ha acelerado la migración a configuraciones all-IP.

#### **3.1.4. Futura evolución a LTE (4G) y convergencia de redes fijas y móviles**

En muchas publicaciones de organismos estandarizadores y fabricantes de equipos Ethernet se habla de que la migración hacia redes all-IP permitirá a los operadores dejar sus redes móviles listas para la llegada de las tecnologías 4G. Además, al estar basadas en las mismas tecnologías que las redes fijas e Internet, permitirá una total convergencia entre ambas (fija-móvil), de tal forma que se complementarán para

ofrecer a los usuarios un servicio ubicuo y constante. Esto implica que un usuario podrá moverse con su dispositivo libremente sin preocuparse por en qué red se encuentra ni percibir cambios o cortes en el servicio, pues el dispositivo se encarga de conmutar entre las redes disponibles (3G, 4G, WiFi, etc.). Consultar Capítulo 4, Apartado 4.5 (pág. 174) para más información.

## **3.2. Telefonía Móvil 3G (Tercera Generación)**

### **3.2.1. De la Segunda a la Tercera Generación pasando por GPRS y EDGE**

La Segunda Generación de telefonía móvil incorporaba múltiples mejoras respecto a la 1G por el hecho de utilizar señales digitales y acceso TDMA. Sin embargo, se diseñó a medida para transportar tráfico de voz principalmente, siendo posible el envío de datos sólo a baja velocidad (SMS, fax).

Conforme las redes fijas e Internet comenzaban a ofrecer banda ancha y a permitir acceso a multitud de nuevos servicios y aplicaciones, los usuarios de comunicaciones móviles también elevaron sus expectativas, que las redes 2G no cubrían. Entonces los organismos de estandarización del sector de la telefonía móvil se pusieron manos a la obra para crear un nuevo estándar capaz de ofrecer en movilidad esos servicios de datos (acceso a Internet, correo electrónico, MMS, videollamada, etc.).

- **GPRS (General Packet Radio Service) o 2.5G**

El primer gran paso en la evolución del 2G ocurrió con la entrada del Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS - General Packet Radio Service). Los servicios móviles relacionados con el GPRS se convirtieron en 2.5G, pues permitían velocidades de transmisión de datos mayores (desde 64kbps hasta 160kbps) estableciendo modo de conmutación de paquetes, realizando gestión de direcciones IP para los terminales, y todo ello de forma compatible con la red GSM. Los nuevos servicios incorporados incluían acceso al protocolo de aplicaciones inalámbricas (WAP - Wireless Application Protocol), servicio de mensajes cortos (SMS), sistema de mensajería multimedia (MMS - Multimedia Messaging Service), y servicios de comunicación por Internet como el

email y el acceso a la web. Al principio se pensó en extender el GPRS para que diera cobertura a otros estándares 2G, pero en vez de eso esas redes están convirtiéndose para usar el estándar GSM, de manera que el GSM es el único tipo de red en la que se usa GPRS. Originariamente fue estandarizado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), pero ahora lo está por el 3GPP.

En GPRS la tarificación ya se realiza por el número de Mbps transferidos, en lugar de por el tiempo de conexión, como se hace en la tradicional comunicación de datos por conmutación de circuitos de GSM. Entre los servicios que ofrece GPRS se incluyen el Wireless Application Protocol (WAP), servicio de mensajes cortos (SMS), servicio de mensajería multimedia (MMS), Internet y algunos servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (WWW).

Para soportar GPRS se deben añadir nuevos nodos de conmutación de paquetes a la red de acceso GSM: el SGSN (Serving GPRS Support Node) y el GGSN (Serving GPRS Support Node). También se añade una Unidad de Control de Paquetes (PCU) entre la BSC y el SGSN y una red troncal GPRS basada en IP entre SGSN y GGSN.

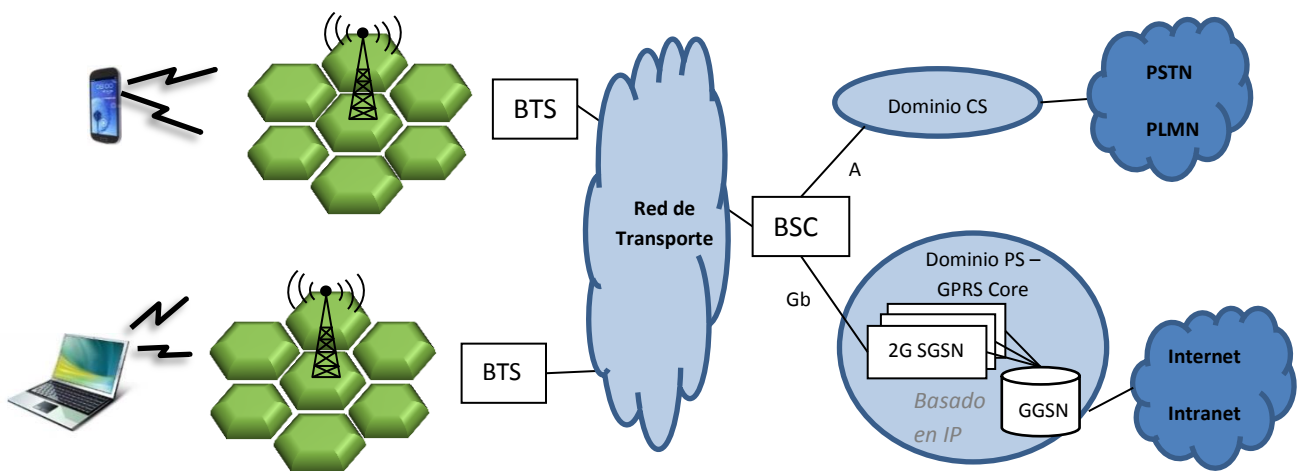


Figura 30: Esquema de la red GSM con GPRS

- **EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) o 2.75G**

EDGE es el acrónimo para Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM), tecnología estandarizada por ETSI en 1999. También conocida como EGPRS (Enhanced GPRS), EDGE es una tecnología

considerada como puente entre GSM (2G) y UMTS (3G) (según su implementación se acerca más a una o a otra), y evolución del GPRS (General Packet Radio Service). Puede alcanzar una velocidad de transmisión de hasta 384Kbps en modo de paquetes, por lo que las clases más altas de esta tecnología ya están consideradas de Tercera Generación.

Esta tecnología funciona con redes GSM, por lo que permite explotar la infraestructura existente para prestar servicios avanzados. Aunque EDGE funciona con cualquier GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias (en el Subsistema de Estaciones Base), y además no todos los teléfonos móviles soportan esta tecnología.

EDGE puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes, como es la conexión a Internet. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos, o ancho de banda altos, como video u otros servicios multimedia. El inconveniente es que podemos encontrar cuellos de botella en el interfaz Abis de algunas estaciones, que está limitado a 2 o 4Mbps habitualmente.

EDGE fue estrenado en las redes GSM de Estados Unidos en el año 2003.

- **IMT-2000 y 3GPP (Third Generation Partnership Project)**

Tras 15 años de trabajo llevado a cabo por la ITU con el objetivo de sentar las bases de las tecnologías de Tercera Generación, las especificaciones para estas nuevas redes fueron publicadas en la Recomendación ITU-R M.1457, también llamado estándar IMT-2000<sup>5</sup>. El objetivo que persigue conseguir este estándar se resume como “anytime, anywhere, anyone” (en cualquier momento, cualquier lugar, cualquier persona).

Los requerimientos mínimos para la evaluación de las tecnologías radio que quisieran optar a ser 3G eran, en lo referido a la velocidad de bajada:

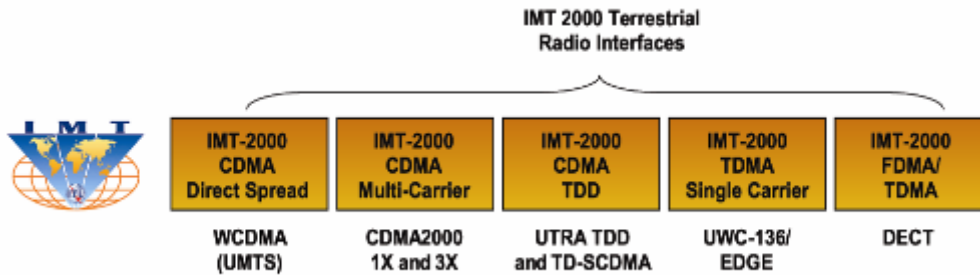
- 144kbps para terminales en movimiento a alta velocidad (vehículos)

---

<sup>5</sup> IMT-2000 es el estándar global para la tercera generación de redes de comunicaciones inalámbricas 3G, definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). IMT-2000 proporciona un marco para el acceso inalámbrico mundial uniendo los diversos sistemas de redes terrestres y satelitales. Todos los servicios presentados como 3G deben cumplir las especificaciones técnicas de IMT-2000 recogidas en la Recomendación ITU-R M.1457, con el fin de que todas las redes 3G sean compatibles unas con otras. Se incluyen las velocidades mínimas de transferencia de datos y aspectos como la seguridad, entre otras directrices.

- 384kbps para terminales moviéndose a velocidad media (caminando a pie).
- 2048kbps en condiciones indoor o con baja movilidad.

Fueron 5 las tecnologías que cumplían los requisitos y por tanto se convirtieron en 3G (Figura 31).



**Figura 31: Tecnologías aceptadas como de Tercera Generación por cumplir IMT-2000**

Entonces surgieron dos familias de miembros o Proyectos 3G que se encargarían de supervisar, desarrollar y mejorar los estándares y tecnologías relacionados con 3G, el 3GPP (tecnologías GSM evolucionadas hacia 3G mediante WCDMA) y el 3GPP2 (evolución de CDMA2000). La ITU-T dirige, sin embargo, varios aspectos de conciliación de las redes troncales IP de ambos proyectos, con el fin de sentar las bases para una red troncal armonizada en las tecnologías posteriores a IMT-2000. [10]

El **Proyecto 3GPP** es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos, cuyo objetivo inicial era asentar las bases de un sistema global de comunicaciones de tercera generación 3G para móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado "Global System for Mobile Communications" GSM dentro del marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU (IMT-2000). Más tarde el objetivo del 3GPP se amplió incluyendo el desarrollo y mantenimiento de GSM, GPRS, EDGE y otras tecnologías.

Una de las tecnologías aceptada fue UMTS, que es una de las que se encarga de desarrollar el 3GPP y que corresponde a las siglas "Universal Mobile Telecommunications System". UMTS usa una comunicación terrestre basada en una interfaz de radio W-CDMA, también conocida como UMTS Terrestrial Radio Access

(UTRA). Soporta división de tiempo dúplex (TDD) y división de frecuencia dúplex (FDD). Ambos modelos ofrecen rangos de transferencia de información de hasta 2 Mbps.

UMTS es la tecnología 3G que se eligió para su despliegue en España, donde los primeros servicios 3G se empezaron a comercializar durante los años 2003-2004.

UMTS, como tecnología 3G, ofrece los siguientes servicios:

- Facilidad de uso y bajos costes: UMTS proporcionará servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para realizar un fácil acceso a los distintos servicios y bajo coste de éstos para asegurar un mercado masivo: roaming internacional, capacidad de ofrecer diferentes formas de tarificación (i.e. tarifas planas).
- Nuevos servicios adicionales a las comunicaciones por voz: acceso a Internet desde el móvil o desde un ordenador con conexión 3G, servicios multimedia, videollamada, descarga de música, envío de fotos, etc.
- Acceso rápido: La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación móvil (2G) es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos.

En cuanto a la red troncal, IMT-2000 establece las tecnologías/protocolos ATM e IP como de importancia fundamental para su implementación.

A pesar de todas las ventajas que prometían, las tecnologías 3G fueron extremadamente lentas en ser adoptadas globalmente, lo que se debió principalmente a dos motivos: en la mayoría de las ocasiones las frecuencias 3G no coinciden con las 2G, lo que obliga a los operadores conseguir nuevas licencias de espectro en las bandas 3G (especialmente aquellas que les permiten obtener altas velocidades de transmisión) así como desplegar redes enteras para darles soporte; por otro lado, muchos operadores con licencias ya en sus manos tuvieron que hacer frente, tras haber pagado grandes sumas de dinero por dichas licencias, a una nueva gran inversión para actualizar y mejorar el hardware de transmisión. Debido a estos problemas y dificultades muchos operadores no pudieron desplegar estas capacidades mejoradas, o las retrasaron.



Estándares que cumplen IMT-2000	Nombre común	Evolución	Mejora hacia 4G	Dúplex	Canal Radio	Descripción	Región Geográfica	
TDMA Single-Carrier (IMT-SC)	EDGE (UWC-136)	EDGE Evolution	Probable no continuación	FDD	TDMA	Mejora evolutiva de GSM/GPRS	Global	
CDMA Multi-Carrier (IMT-MC)	CDMA2000	EV-DO	UMB		TDD	CDMA	Mejora evolutiva de CDMA2000	Americas, Asia y algunos otros
CDMA Direct-Spread (IMT-DS)	UMTS	W-CDMA	HSPA	LTE			Familia de mejoras revolucionarias de la familia GSM	Global
CDMA TDD (IMT-TC "Time Code")		TD-CDMA						Europa
		TD-SCDMA				China		
FDMA/TDMA (IMT-FT "Frequency Time")	DECT	-	-	FDMA/TDMA	Estándar para telefonía sin hilos	Europa, EEUU, Canada		
IP-OFDMA	-	WiMAX (IEE 802.16)	-	OFDMA	Estándar de comunicaciones inalámbricas. Aceptado como 3G en 2007	Global		

Tabla 6: Estándares y tecnologías 3G/IMT-2000

### 3.2.2. UMTS en España

La tecnología UMTS, tal como se ha comentado en el apartado anterior, es un sistema de telefonía móvil de tercera generación (3G). Desde un punto de vista técnico, la mayor innovación que introduce UMTS es el uso de la técnica de espectro ensanchado W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access, también llamado UTRA-FDD), pues GSM o GPRS utilizaban FDMA o TDMA. Esta técnica permite aumentar la velocidad de transmisión así como mejorar la resistencia a las interferencias (mejor calidad de voz), y facilitar los procesos de transición entre dos celdas (soft handover). Así, UMTS alcanza velocidades teóricas de hasta 2Mbps en la transmisión de datos con baja movilidad o 144Kbps sobre vehículos a gran velocidad. Esta capacidad de transmisión unida al soporte del protocolo IP, capacita a UMTS para la prestación de servicios multimedia interactivos: servicios como videoconferencia, descargas musicales o de vídeo, nuevos videojuegos online en el móvil, etc. [11]

Por estos motivos UMTS despertó el interés por parte de los grandes operadores a nivel global y en España en particular, ya que ofrece un nuevo paradigma en el mercado de la telefonía móvil con la previsible capacidad de introducir importantes cambios en el modelo de negocio, hasta el momento basado en los servicios de voz. Estas mejoras, sin embargo, no serían instantáneas, sino que los operadores tenían que conseguir una licencia y desplegar en parte una nueva red antes de poder ofrecer los nuevos servicios a sus clientes. Por suerte, si bien serían necesarios algunos cambios en la red de transporte para poder ofrecer los servicios de Tercera Generación (multimedia,

datos, voz, etc.) de forma óptima, la red TDM existente suponía un gran soporte, pudiendo coexistir en la misma los datos generados tanto por nodos B como por BTSs, y por tanto datos GSM, DCS, GPRS, EDGE y UMTS.

En España, en Marzo de 2000 se otorgaron cuatro licencias para dar servicio UMTS a cuatro operadoras: Movistar, Vodafone, Amena y Xfera, que comenzaron a implantar esta tecnología en sus redes de acceso. En el caso de Vodafone se fue desplegando progresivamente la red 3G desde Agosto de 2000 hasta Febrero de 2004 cuando, tras haber realizado pruebas piloto con miles de usuarios corporativos en toda Europa y España, se lanzaron al mercado los primeros servicios móviles 3G (pensados inicialmente para clientes empresariales o de alta capacidad adquisitiva). El esfuerzo de despliegue se inició en las siete mayores ciudades españolas: Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Bilbao, Zaragoza y Málaga, donde antes que en el resto se podía ofrecer cobertura diferencial de 3G complementaria a la de GPRS; y continuó con el despliegue de infraestructura en las capitales de provincia españolas, zonas suburbanas, poblaciones de más de 25.000 habitantes... [12].

Hoy en día, en España son muchos usuarios de telefonía móvil los que se conectan a Internet desde sus terminales móviles (smartphones, tabletas y PCs portátiles) desde fuera de casa, aunque sólo un 20% de ellos lo hace utilizando el 3G, lo que supone más de 5 millones de usuarios. El otro 80% se conecta mediante WiFi, gracias a las múltiples redes WiFi existentes (universidades, algunos transportes públicos, cafeterías, etc.) y a que todos los terminales disponen de esta funcionalidad.

A pesar del menor porcentaje de accesos mediante 3G, siguen siendo muchos usuarios los que hacen uso de esta tecnología y el número sigue en aumento. La rápida adopción de smartphones por parte de los usuarios ha precedido en algunas regiones geográficas a la inversión y mejora por parte de los operadores de la infraestructura técnica que ha de soportar tantas conexiones. En algunas ocasiones la red 3G se ve desbordada (partidos de fútbol, conciertos, fiestas y en general cualquier evento en el que la densidad de usuarios en una zona es más alta de lo habitual), mientras que en otras puede que directamente no exista cobertura 3G (poblaciones muy pequeñas, carreteras secundarias, etc.). Esto crea diferentes niveles de experiencia de usuario según la zona en la que se encuentran, por lo que los operadores dedican muchos recursos en ampliar y optimizar sus redes continuamente, con el fin de ofrecer la misma

calidad de servicio (y la mejor posible) a todos sus clientes sin importar donde se conecten.

### 3.2.3. Servicios soportados por UMTS. Ventajas y Desventajas.

Los servicios que incorpora la tecnología UMTS son los siguientes:

- Telefonía. Permite llamadas tanto móvil-móvil como de móvil-fijo (red móvil-PSTN). También se permiten llamadas de emergencia al 112, y se incluyen servicios como desvío de llamadas, llamada restringida o identificación del abonado llamante.
- Transferencia de datos a altas velocidades (a partir de 144kbps en UL y 2Mbps en DL, según el estado de la red y del terminal móvil).
- Servicios de información avanzada: Internet se ha convertido en la mayor fuente de información del mundo por lo que la utilización de esta red por parte de UMTS nos permite un continuo acceso a toda la información, nuestro correo electrónico, a la WWW, redes sociales, noticias, tráfico, etc.
- UMTS, sumado al soporte de protocolo de Internet (IP), se combinan para prestar servicios multimedia y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video-telefonía y video-conferencia.

Además de servicios adicionales, UMTS incorpora numerosas **ventajas** o mejoras respecto a las tecnologías 2G:

- Mayor eficiencia espectral gracias a la técnica de acceso móvil WCDMA, que permite proporcionar mayores tasas binarias, pudiendo llegar a los 2 Mbps, y una gran flexibilidad para transportar diferentes tipos de servicios en el acceso radio (voz y datos con diferentes tasas binarias).
- Mayores velocidades de transmisión de datos.
- Mayor grado de seguridad en comparación con sus predecesoras 2G.
- Transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.

- El protocolo IP utilizado está basado en paquetes, lo que permite formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, etc.).
- Permite establecer una determinada Calidad de Servicio (QoS) antes de establecer la conexión, de manera que es capaz de soportar gran variedad de aplicaciones y servicios adaptándose a ellos de forma eficaz (Gestión de Recursos Radio). Para establecer los niveles de QoS se han definido 4 Clases de Servicio que son, de mayor a menor prioridad: Conversacional, Streaming, Interactivo y Background (“segundo plano”)
- Integra la transmisión de datos en paquetes y por circuitos de conmutación de alta velocidad.
- Una amplia gama de terminales disponibles con precios accesibles para el mercado masivo, soportando simultáneamente las capacidades de UMTS, gracias a que se trata de un estándar universal.

Aunque también presenta varios inconvenientes:

- Las licencias de servicio 3G son costosas, lo que a posteriori convierte en un reto económico el construir la infraestructura necesaria para el 3G.
- Cobertura limitada por ser una tecnología relativamente nueva. Dependiendo de la localización y del despliegue de red 3G de cada operador en ella, la velocidad de transferencia puede disminuir drásticamente (o incluso carecer totalmente de cobertura).
- El protocolo IP es no orientado a conexión, por lo que cada uno de los paquetes pueden seguir rutas distintas entre el origen y el destino, por lo que pueden llegar desordenados, duplicados o incluso no llegar al destino.
- Mayor latencia que la que se obtiene en banda ancha fija, lo que puede ser crítico para aplicaciones en tiempo real.
- Disminución de la velocidad si el dispositivo desde el que nos conectamos está en movimiento (por ejemplo, si vamos circulando en automóvil).

### 3.2.4. HSPA y HSPA+

HSPA es una combinación de dos protocolos, el HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y el HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), desarrollados para ampliar y mejorar las redes 3G existentes utilizando el protocolo WCDMA. Es por tanto una mejora del estándar UMTS, empleada en las conexiones de Internet móvil. HSPA utiliza de forma más eficiente el espectro radioeléctrico que tienen asignado las operadoras, mejorando la velocidad y latencia en la transferencia de datos. [13]

- HSDPA: El 3GPP introdujo este protocolo en la Release 5 (año 2002), y consiste en la mejora del canal descendente (red → móvil). Existen varias categorías en función de la velocidad de bajada: velocidad máxima teórica<sup>6</sup> es de 14.4Mbps, aunque lo más habitual en España es disponer de 3.6 o 7.2Mbps. En UL se ofrecen hasta 384kbps.

En la misma Release se introdujo el **IMS** (Subsistema Multimedia IP) que básicamente consiste en el conjunto de especificaciones para la arquitectura capaz de soportar telefonía y servicios multimedia a través de IP, es decir, transportar tráfico de voz, datos, video, servicios e imágenes conjuntamente a través de la infraestructura basada en enrutamiento de paquetes a través de direcciones IP. Sólo requiere que los equipos utilicen el protocolo de sesión SIP (Session Initiation Protocol).

- HSUPA: este protocolo fue introducido por el 3GPP en la Release 6 publicada en 2004. Consiste en la mejora del canal de información ascendente (móvil → red), de manera que se consiguen velocidades teóricas máximas de subida de 7.2Mbps, aunque lo habitual en España es 1.4 o 2Mbps. También reduce la latencia de las conexiones, lo que junto a velocidades DL y UP más simétricas, facilita las comunicaciones persona-persona (juegos online, envío de email, fotos, etc.).

HSPA+ o HSPA Evolucionado es un estándar posterior, publicado en la Release 7 del año 2007, aunque hasta el año 2010 no se adoptó globalmente. Como su nombre

---

<sup>6</sup> La velocidad teórica es un valor bruto de pico que sólo se alcanza en las mejores condiciones, con una excelente señal de radio y sin otros usuarios en la celda. La velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido por los protocolos, por las condiciones radioeléctricas (nivel de cobertura), la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

indica, es una extensión de los protocolos HSPA que provee velocidades teóricas de hasta 84Mbps de bajada y 22Mbps de subida, a través de una técnica multi-antena conocida como MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) y modulación 64-QAM. Estos picos son difíciles de alcanzar, siendo habitual llegar en la práctica a algo más de los 14.4Mbps del HSDPA. HSPA+ también introduce una **arquitectura IP opcional** para las redes cuyas estaciones base estén conectadas directamente a un backhaul IP, por lo tanto, aquí entra en acción la red de transmisión basada en paquetes IP que es objeto de este proyecto.

En las Releases posteriores publicadas por el 3GPP se incluyen nuevas mejoras a estas tecnologías, que elevan aún más las velocidades de transferencia y la calidad de servicio, como **Dual-Carrier HSPA** (evolución de HSPA que permite al usuario conectarse a dos celdas simultáneamente, doblando la velocidad de conexión) de la que ya se ha realizado la implantación en algunos puntos, o **Multi-Carrier HSPA** (permite al usuario conectarse a más de dos celdas) publicada a finales de 2012.

Las cuatro grandes operadoras en España ya disponen de HSPA en la mayor parte del territorio, e incluso HSPA+ en las grandes capitales. Con el tiempo estas tecnologías van pasando de entornos urbanos y de alta densidad de usuarios, a entornos suburbanos, rurales, municipios pequeños, etc.

Lógicamente, para llegar a las altas velocidades que prometen estas tecnologías, es imprescindible que la red de transmisión que da soporte a los nodos B sea capaz de “mover” la información a muy alta velocidad, ofreciendo Interfaces Iub full-IP con capacidades de más de 100Mbps en entornos muy poblados.

### **3.2.5. Arquitectura de la red UMTS**

Las principales unidades funcionales de las redes UMTS pueden verse en el siguiente esquema

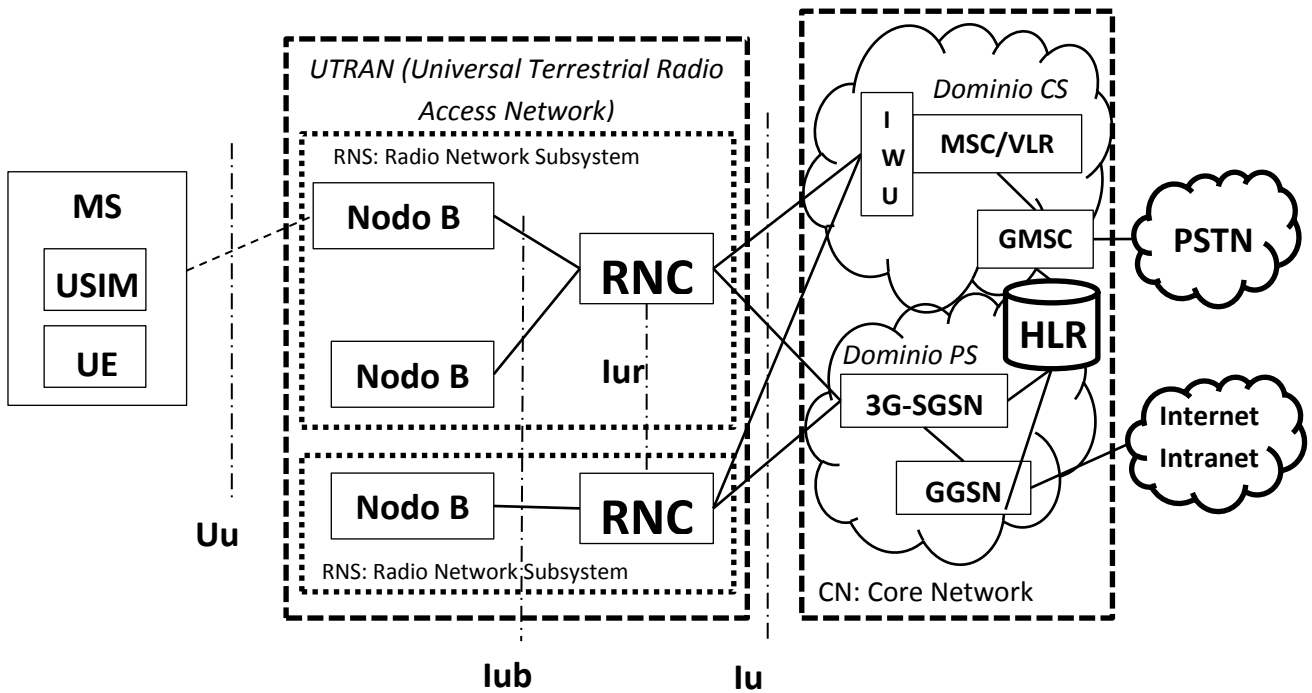


Figura 32: Esquema de una red UMTS con sus principales unidades funcionales e interfaces

A grandes rasgos la red UMTS está constituida por la estación móvil (teléfono móvil, tableta, Smartphone, USB 3G), la red de acceso llamada UTRAN (a su vez dividida en Subsistemas de Red Radio RNS) y la red troncal (también dividida en dos dominios, el de conmutación de circuitos y el de conmutación de paquetes).

Vamos a ver con mayor detalle estos elementos.

### 3.2.6. Subsistemas y Elementos UMTS

#### 3.2.6.1. Estación Móvil (MS: Mobile Station)

La Estación Móvil o Mobile Station (MS) en inglés, es el dispositivo móvil utilizado por el usuario para acceder a la red. Podría subdividirse, a su vez, en la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) y el Mobile Equipment que básicamente es el dispositivo de usuario que, a diferencia de GSM, puede ser un teléfono, un PC con USB 3G, un smartphone, una tableta, etc.

### 3.2.6.2. UTRAN / Red de Acceso

La UTRAN o Red de Acceso Radio Universal Terrestre se trata de la red de acceso UMTS que provee conectividad entre las MS y la red troncal, y abarca desde los nodos B hasta las RNCs, y por tanto todos los elementos intermedios. La UTRAN se divide en Subsistemas de Red Radio (RNS), cada uno compuesto por una RNC y todos aquellos nodos B a los que controla.

#### ○ **Nodo B**

Es el elemento equivalente a la Estación Base en GSM, por tanto se encarga de realizar la conexión con el dispositivo móvil. A diferencia de GSM, los nodos B utilizan interfaz aire con tecnología W-CDMA en lugar de TDMA/FDMA-FDD. Existe un Nodo B en cada celda de la red celular UMTS (un emplazamiento puede tener una BTS y un Nodo B, o sólo uno de los dos elementos, según la tecnología desplegada). Tiene otras funciones, como realizar el mapeo de la información proveniente del terminal por el Interfaz Uu y los recursos disponibles en el Interfaz Iub.

En los orígenes de 3G los nodos B tenían una funcionalidad mínima y la inteligencia la proveían las RNCs. Con las nuevas tecnologías HSPA y posteriores se está comenzando a asignar más lógica a estos elementos.

#### ○ **RNC (Radio Network Controller)**

Es el elemento equivalente a la BSC en GSM, por lo tanto, es el encargado del gobierno de la red UTRAN y responsable del control de los nodos B conectados a él.

Igual que ocurre en GSM, el número de nodos B necesarios para cubrir una determinada región geográfica suele ser bastante alto, por lo que resultan necesarias varias RNCs para controlarlos todos. De esta manera, cada RNC tendría una determinada área de influencia, y controlaría todos los nodos B dentro de ella. Este conjunto de RNC más nodos B que controla, se denomina Subsistema de Red Radio.

Algunas de las funciones ejecutadas por RNC son:

- Manejar los recursos de transporte de la interfaz Iu.
- Controla los nodos B y las celdas asociadas.
- Manejo de tráfico en los canales comunes.



- Combinación en la macrodiversidad y división de las tramas de datos transferidas sobre muchos Nodos B.
- Asignación de códigos en el enlace de bajada.
- Control de admisión.
- Manejo del tráfico en los canales compartidos.

Por otra parte, igual que en la red de acceso GSM, en este proyecto se va a subdividir la red de acceso en dos partes:

- Red de Acceso Radio: es la sección donde se realiza el envío de datos y el acceso del MS a la red a través del interfaz aire Uu, es decir, el interfaz entre el dispositivo móvil y el nodo B.
- Red de Transmisión de Acceso: es la sección comprendida desde el nodo B hasta la RNC (Interfaz Iub), cuya función es realizar el transporte de la información (voz, datos, gestión, señalización) entre ambos elementos. La red de transmisión desplegada para GSM sirvió para dar soporte a UMTS, con algunas modificaciones iniciales. Sin embargo, conforme se desarrollan mejoras en el estándar se requiere acometer grandes reformas en esta parte de la red. En el presente Proyecto Final de Carrera esta parte es la de mayor interés y por ello la estudiaremos con mayor detalle en apartados posteriores.

### **3.2.6.3. Red Troncal (Core Network)**

La red troncal ahora debe gestionar la información tanto de voz como de datos que genera la red de acceso. Gracias al protocolo de SS7 denominado MAP (Mobile Application Part), UMTS puede usar los mismos estándares que GSM en la red troncal, es decir, las redes troncales GSM, UMTS y GPRS pueden comunicarse entre sí para ofrecer servicios a los usuarios.

La red troncal se divide en dos partes o dominios: el PS (Packet Switched o de conmutación de paquetes) y el CS (Circuit Switched o de conmutación de circuitos). El dominio PS se encarga de interconectar, a través del SGSN y el GGSN, a los usuarios con las redes de datos como Internet, X.25, Intranets y otros servidores del ISP. En

cuanto al dominio CS, su función es llevar las comunicaciones de voz hacia la Red Pública Conmutada u otras redes de conmutación de circuitos y se realiza a través de la MSC y la GMSC.

No vamos a entrar en más detalle en este subsistema, pues queda fuera del interés del presente proyecto.

### 3.2.7. Interfaces

#### 3.2.7.1. Interfaz Uu

El interfaz Uu es similar al Um en GSM, es aquél que une la MS con el nodo B, es decir, el dispositivo de usuario con la UTRAN, y por lo tanto el medio de transmisión se basa en señales radioeléctricas a través del aire. Este interfaz está definido en las tres capas más bajas del modelo OSI: nivel físico, nivel de enlace de datos y nivel de red. Se utiliza la técnica de acceso múltiple W-CDMA.

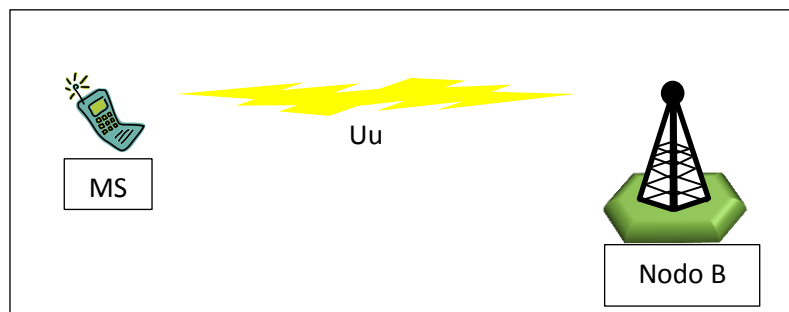
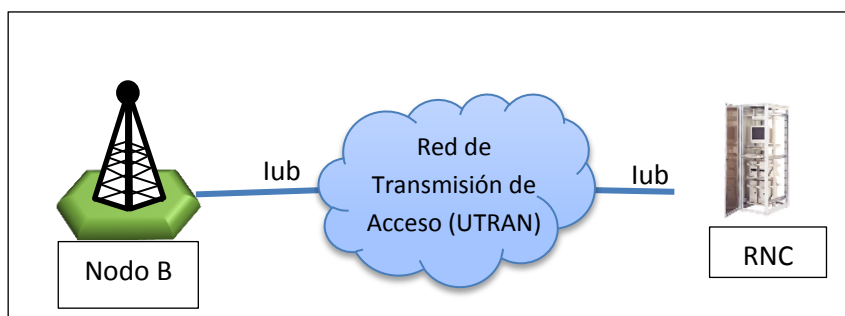


Figura 33: Ubicación del Interfaz Uu

#### 3.2.7.2. Interfaz Iub

Es el equivalente al interfaz Abis en GSM, por lo tanto es el encargado de llevar la información entre los nodos B y su RNC correspondiente. A diferencia del interfaz Uu que se trata de una conexión directa a través de ondas radioeléctricas por el aire, el interfaz Iub es mucho más complejo y nunca es una conexión directa entre ambos equipos.



**Figura 34: Interfaz Iub a través de la red de acceso (UTRAN)**

Habitualmente son cientos de nodos B los que se controlan por una única RNC. Las RNCs suelen situarse en centros de conmutación de la operadora, mientras que los nodos B se reparten por todo el territorio al que se quiere dar cobertura UMTS. Esto quiere decir que en muchos casos existen grandes distancias entre unas y otras, lo que requiere el despliegue de una red de transporte/transmisión de área extensa (WAN) que una cada Nodo B con su RNC. A esta red la llamamos red de transmisión de acceso o UTRAN.

Las características del Iub de UMTS son las siguientes:

- Permite realizar seguimiento de la red de transporte mediante estadísticas de ocupación y disponibilidad de los enlaces, llamadas rechazadas, alarmas, etc.
- Asignación dinámica de los recursos (concepto de ancho de banda vs. Timeslot TDM)
- Multiplexación estadística mediante multiplexores ATM (ya obsoletos) o MPLS.
- Aparece el concepto de QoS al existir diversidad de servicios coexistiendo en la misma red
- Los handovers consumen más recursos que en el Abis
- Utiliza como tecnología de transporte ATM o IP.

Respecto a este último punto, el grupo 3GPP publicó en la Release 99 (año 2000) la primera red UMTS junto con todas sus características, y en una posterior especificación (UMTS Core Network based on ATM Transport – Spec 23.925 [14]) se desarrolló el núcleo de la red usando ATM como tecnología de transporte así como en el interfaz Iub.

Sin embargo, a partir de la Release 5 se permite usar tanto ATM como IP para transportar los datos de usuario y la señalización del nodo B proveniente de la RNC (NBAP<sup>7</sup>) a través del interfaz Iub.

Además, a partir de la Release 4 se separan las funciones de transporte y control en dos planos diferenciados e independientes: plano de control y plano de usuario.

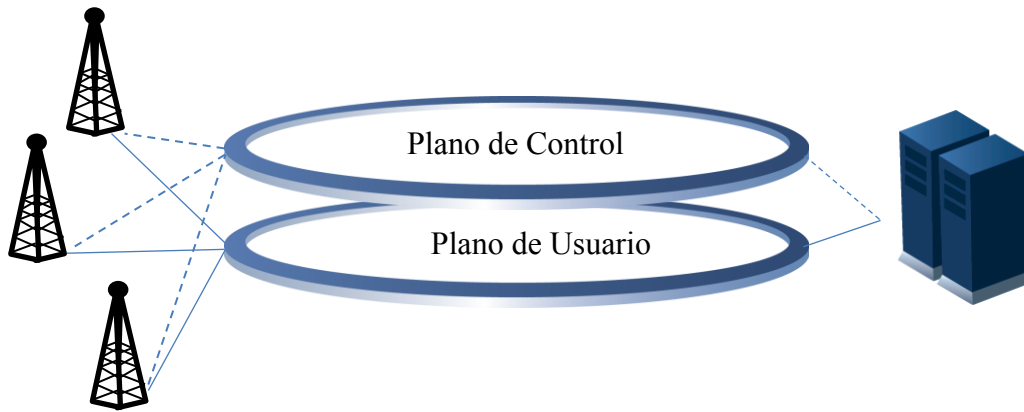
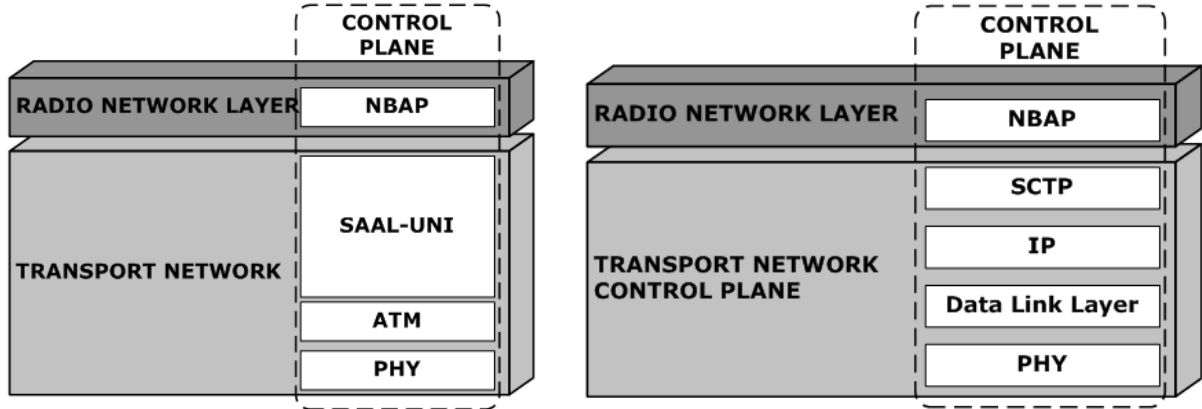


Figura 35: Planos de Control y de Usuario

Figura 36 – Pila de Protocolos del Plano de Control usando a) ATM y b) IP



<sup>7</sup> NBAP son las siglas de Node B Application Part. Es el protocolo de señalización utilizado por la RNC para controlar al Nodo B. Definido en la especificación 3GPP TS 25.433.

En la Capa de Red Radio (Radio Network Layer) está el Protocolo de Tramas (Frame Protocol), aunque en realidad es un conjunto de ellos. Están definidos protocolos diferentes para canales dedicados (3GPP TS 25.427) y para canales comunes (3GPP TS 25.435).

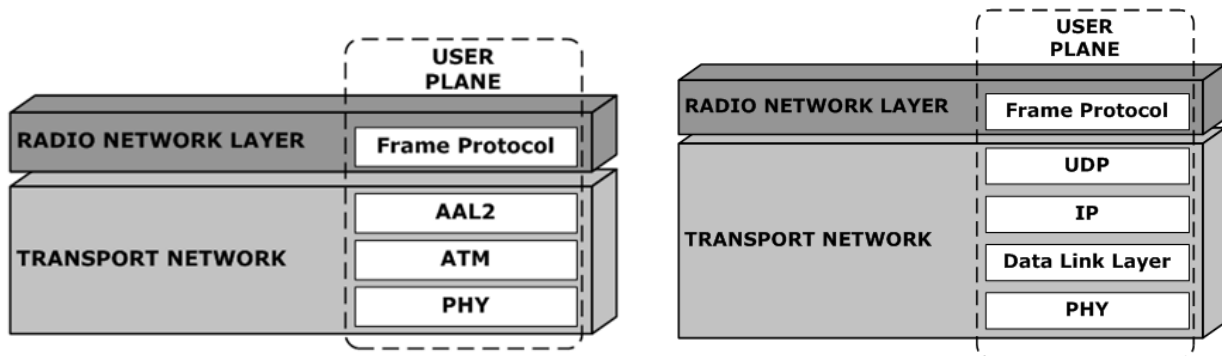


Figura 37: Pilas de Protocolos del Plano de Usuario usando a) ATM y b) IP

Usando transporte ATM, la capa SAAL-UNI (Signaling ATM Adaptation Layer) está compuesta por tres subcapas: SSCF-UNI (Service Specific Coordination Function for support of signaling at the User Network Interface), SSCOP (Service Specific Connection Oriented Protocol) y AAL5 (ATM Adaptation Layer 5).

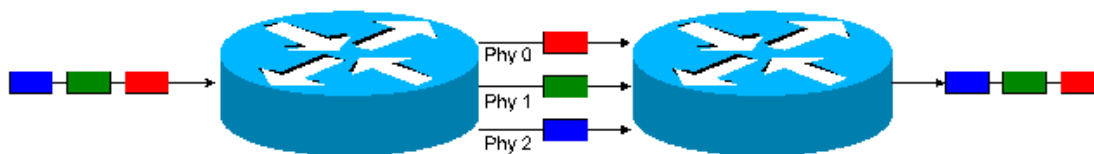
En el caso de usar IP como protocolo de transporte, la capa 2 o nivel de enlace de datos será Ethernet nativo o Ethernet mapeado sobre PDH.

### 3.2.7.2.1. Tipos de Iub

En el origen de la red UMTS el transporte de la información de los nodos B hasta la RNC se tuvo que realizar a través de la red de acceso TDM existente para GSM mediante el empaquetado de nxE1s sobre los que se transportaba ATM. Sin embargo, a raíz de las versiones R-5 y R-6 del 3GPP que permitían el transporte IP además de ATM, se ha ido extendiendo la tecnología Ethernet por la red de acceso. Esto ha permitido tres configuraciones posibles para el Iub de los nodos B:

- a) Iub ATM/TDM: IMA

Esta es la configuración habitual hasta la llegada de la tecnología IP y Ethernet y su extensión por la red de transmisión de acceso. Los nodos B disponen de puertos E1, que se empaquetan o agrupan utilizando un protocolo llamado IMA (Inverse Multiplexing for ATM o Multiplexación Inversa para ATM) de manera que se crea extremo a extremo un enlace lógico o virtual de mayor ancho de banda (la capacidad equivalente es aproximadamente la suma de los E1s utilizados). El flujo de tramas ATM se distribuye entre los múltiples E1s y se reensambla al llegar al destino para crear de nuevo el flujo original (ver Figura 38). Para realizar la tarea de ensamblado correctamente se transmiten periódicamente unas celdas especiales llamadas ICP (IMA Control Protocol), que se descartan en el extremo destino, pasándose el flujo de celdas al nivel superior ATM. Por lo tanto, IMA es un protocolo mediante el que se crean pseudowires (PWE3) o circuitos emulados ATM para transmitir datos con mayor ancho de banda del que ofrecen los enlaces por separado.



**Figura 38: Esquema de la Multiplexación Inversa para ATM (IMA)**

El ATM Forum estandarizó la tecnología IMA (especificación AF-PHY-0086.000), que se usa para transportar tráfico ATM (como el generado por los nodos B) sobre un conjunto de líneas E1, que se denominará Grupo IMA. De esta forma conseguimos un incremento de la capacidad de salida y transporte de tráfico por la red, en los casos en que no disponemos de un medio de transmisión de más capacidad, como fibra óptica o un radioenlace mayor.

Según la especificación, un grupo IMA puede estar constituido por un máximo de 32 cables o enlaces E1, lo que permite un ancho de banda máximo de aproximadamente 64 Mbps. Los nodos B que vamos a utilizar disponen de un máximo de 8xE1s, lo que permite tener una capacidad total de Iub por nodo de 16Mbps (ver página 152 sobre Nodos B).

*Cada Iub de cada nodo B requerirá un Grupo IMA que reserva recursos dedicados en la ruta física que atraviesa, es decir, dichos recursos no se comparten con otros nodos.*

Las ventajas y desventajas de esta tecnología son básicamente las mismas que las de ATM. El protocolo ofrece la posibilidad de dar Calidad de Servicio (QoS), aunque a expensas de un alto porcentaje de ancho de banda usado por los datos de cabecera (las celtas ATM son de 53bytes de los que 5bytes son de cabecera, es decir, casi un 10% de la celda son datos de cabecera).

El protocolo IMA se mencionará de nuevo en el Capítulo dedicado a la Red Troncal de acceso MPLS.

#### b) Iub Full-IP

Esta opción implica que el nodo B posee una ruta completa Ethernet hasta la RNC. La capacidad del interfaz Iub deja de estar limitada a los 16Mbps (8xE1s) soportados en modo ATM, pudiendo llegar hasta los 100Mbps. Esta modalidad es la que persigue conseguir para todos los nodos B la evolución hacia all-IP que se está produciendo.

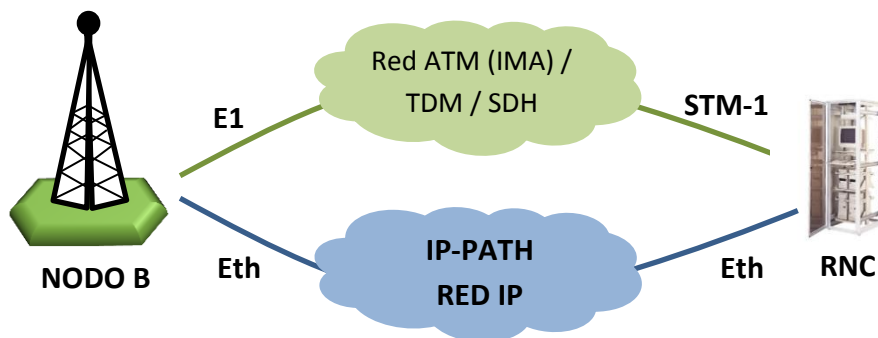
Un enlace lógico full-IP de un nodo consiste normalmente en atravesar uno o varios radioenlaces Ethernet hasta llegar al equipo MPLS más próximo. En ese punto entra a la red MPLS, donde los paquetes se encaminan mediante protocolos IP-MPLS (a través de una VPN de nivel 3) hasta alcanzar el equipo MPLS que se encuentra conectado directamente a la RNC. Dicho equipo desencapsula los paquetes y los entrega a la RNC a través de un interfaz Gigabit Ethernet. (Ver Capítulo 6: Ejemplos de Escenarios pág. 225).

#### c) Iub Dual-Stack

Esta opción significa que un nodo B se configura con dos caminos Iub diferentes, uno ATM y otro IP, funcionando simultáneamente. El Iub dual-stack permite:

- Descargar el tráfico de datos hacia un camino alternativo Ethernet mediante la pila de protocolos que satisface los requisitos de Iub sobre IP definidos en las R-5 y R-6 de 3GPP.
- Usar un camino como principal y el otro como secundario para tener protección frente a cortes en el primero.
- Utilizar el camino (IP o ATM) de mayor ancho de banda para el enlace downlink y el de menor para uplink.
- Usar para el IP-Path cualquier capa física Ethernet: DSL, NG-SDH, radioenlace de microondas.
- Enviar por ATM/TDM la voz y datos R99 así como la señalización, es decir, la información sensible al retardo y las pérdidas. Los datos menos sensibles al retardo (best-effort), como HSPA, se envían por el camino IP sobre la red de conmutación de paquetes.

Esto ofrece múltiples beneficios a los operadores, pues permite ahorrar en la red de transporte a la vez que se garantiza QoS al tráfico sensible y se proporciona velocidades pico mayores que con  $n \times E1$  a tráfico PS (packet-switched) [15].



**Figura 39: Nodo B con interfaz Iub Dual-Stack**

En algunos casos las operadoras necesitan alquilar líneas (por ejemplo a Telefónica, que posee una planta mayor de centrales y ductos), tanto E1 como Eth, en aquellos lugares donde no pueden tener transmisión propia y necesitan desplegar nodos B o disponer de un camino IP para nodos ya ATM. En estos casos ya es más



rentable alquilar capacidad Ethernet que E1, en la Figura 40 se muestra este hecho de forma esquemática.

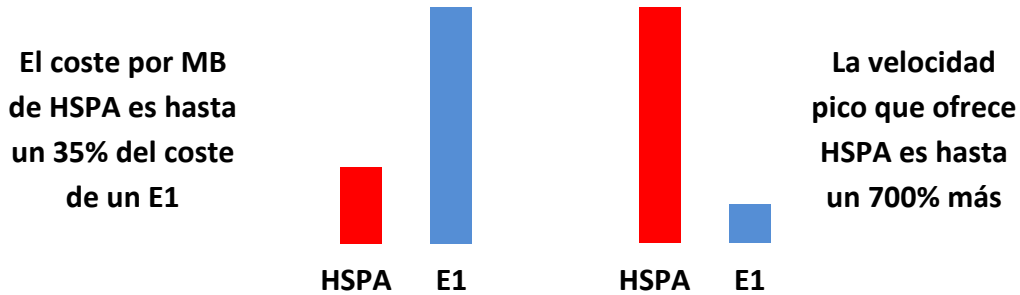


Figura 40: Comparativa Costes y Velocidad de Capacidad Alquilada Ethernet vs. E1

### 3.2.7.3. Interfaz Iu

Este interfaz conecta a la red troncal con la red de acceso de radio de UMTS (UTRAN). Es la interfaz central y la más importante para el 3GPP. El interfaz Iu puede tener dos diferentes instancias físicas para conectar a dos diferentes elementos de la red central, todo dependiendo si se trata de una red basada en conmutación de circuitos o basada en conmutación de paquetes. En el primer caso, es el interfaz Iu-CS la que sirve de enlace entre UTRAN y el MSC, y es el interfaz Iu-PS el encargado de conectar a la red de acceso de radio con el SGSN de la red central.

### 3.2.7.4. Interfaz Iur

Este interfaz, que no tiene equivalencia respecto a GSM, es el que une a las RNCs entre sí, permitiendo a distintas RNCs ocuparse de distintos grupos de funciones.

## **CAPÍTULO 4**

### **EVOLUCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE ACCESO A ALL-IP**

---

## 4.1. Elección de las Tecnologías de Transmisión

En redes de comunicaciones fijas de España se comenzó a disponer de la tecnología de Banda Ancha hacia mediados/finales de los años 90, favorecidas por la liberalización del mercado de las telecomunicaciones que se produjo en 1995.

En las redes móviles la banda ancha ha tardado más en llegar dado el desarrollo tardío de los estándares necesarios (como HSPA), así como la necesidad de adaptar la red de transporte que está detrás de los nodos B y BTS, y que da soporte a estas tecnologías, proceso costoso en tiempo y dinero para las operadoras.

El primer paso que tuvieron que seguir las operadoras, fabricantes y organismos fue tomar una decisión sobre qué tecnología/s de transporte sería/n la/s apropiada/s para cubrir las necesidades de la red a corto, medio y largo plazo. En las redes fijas se había desplegado con éxito la tecnología ATM, y en un primer momento también se adoptó ATM en el ámbito móvil (R99 de UMTS). Sin embargo, en seguida se tomó conciencia de las limitaciones de ATM ante la evolución de las perspectivas del mercado:

- Crecimiento de la dependencia en las comunicaciones móviles de los usuarios (aprox. 4 mil millones de líneas móviles activas en el mundo en 2010).
- Extensión del acceso a datos en movilidad para todos (no sólo para unos pocos).
- Crecimiento de las aplicaciones de datos, video, música, noticias, web, etc.

Las operadoras se encontraron con que el tráfico de datos crecía exponencialmente y desproporcionadamente más que los ingresos. En la Figura 41 se observa este hecho a través del estudio que el GSMA ha realizado a principios de este año 2013: mientras que el tráfico de datos móviles crece a unas tasas próximas al 70%, los ingresos de los operadores móviles (MNO) han venido creciendo a un ritmo de aproximadamente un 4%, e incluso se espera un crecimiento menor en los próximos años. Así mismo, en la figura c) se observa cómo los ingresos medios por usuario (ARPU) han descendido en los últimos años, lo que puede indicar una bajada en el precio medio de las tarifas, así como precios más bajos que se están dando en países en desarrollo donde se está introduciendo la tecnología móvil y donde los ingresos son más bajos.

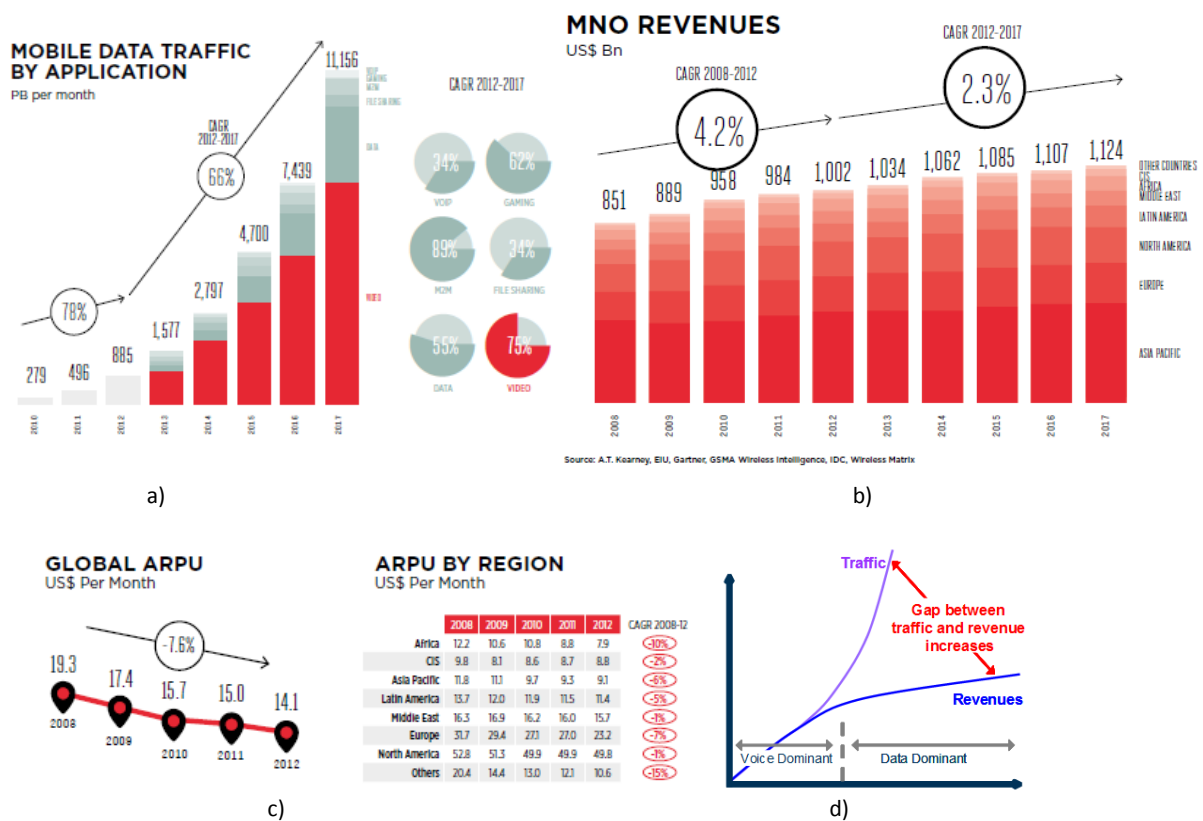


Figura 41: a) Tráfico de datos generado por año y aplicación, en petabytes por mes. b) Ingresos de los operadores de red móvil (MNO). c) ARPU (ingresos medios por usuario), d) Comparativa de crecimiento de tráfico vs. Ingresos. [18] [20]

El crecimiento en ancho de banda sería principalmente en servicios de datos de usuario de tipo best-effort (como accesos a la web (Figura 41 a)) y ofrecidos por modelos de negocio tipo tarifa plana. Ante estos dos datos, las partes implicadas buscaron tecnologías capaces de proporcionar formas más efectivas y de menor coste con el objetivo de alcanzar la capacidad creciente y con OPEX/CAPEX más bajos. Por este motivo se vislumbró como opción óptima el uso de redes basadas en IP de igual forma que en Internet, para así conseguir una convergencia entre redes y servicios en el futuro. Además, con el fin de proporcionar redes IP nativas, se desarrolló el estándar Ethernet para que se pudiese aplicar en redes de área extensa (WAN) y metropolitanas, lo que se denomina comercialmente Carrier Ethernet, siendo ésta una tecnología efectiva y más barata que las demás alternativas, como ATM o TDM. Por este motivo, y porque los estándares de tecnologías 4G se han desarrollado para funcionar sobre redes all-IP, la mayoría de operadoras optaron por usar IP/Ethernet en la evolución de su red

de transporte: radioenlaces de microondas Ethernet y soluciones Ethernet cableadas (coaxial, fibra óptica, DSL, PON, etc.).

Por otra parte, dada la trayectoria en el crecimiento de los datos que se produce anualmente, la planificación del dimensionado de la nueva red se hizo teniendo en cuenta un incremento de 15 o 20 veces el ancho de banda existente, que previsiblemente se produciría en los siguientes años.

#### **4.1.1. Ethernet y Carrier Ethernet**

Desde que Bob Metcalfe describió en 1973 el sistema de red Ethernet que había inventado para interconectar estaciones computadoras, permitiendo que intercambiasen datos a alta velocidad, esta tecnología ha evolucionado y se ha hecho muy popular a nivel mundial. Metcalfe se basó en el protocolo de acceso Aloha, al que añadió la detección de colisiones, la escucha del canal por parte de las estaciones antes de hablar así como el acceso múltiple mediante CSMA/CD. Ethernet supuso el descubrimiento de mecanismos necesarios para disponer de un canal común de comunicaciones, compartido por varias estaciones, permitiendo el uso del sistema hasta con un 100% de carga (en protocolos anteriores, como el Slotted Aloha, la tasa de colisiones crecía con el número de estaciones hasta limitar el uso a un máximo de 37% de carga).

El estándar original Ethernet 10Mbps fue publicado en 1980, conteniendo especificaciones de capa física y de enlace de datos (niveles 1 y 2 del modelo OSI), y el sistema basado en cable coaxial grueso. Posteriormente el IEEE lo estandarizó bajo el nombre 802.3 CSMA/CD, haciéndolo oficial.

Posteriormente se han publicado ampliaciones sucesivas al estándar que cubrieron las ampliaciones de velocidad (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet y 10 Gigabit Ethernet), redes virtuales, hubs, conmutadores y distintos tipos de medios, tanto de fibra óptica como de cables de cobre (tanto par trenzado como coaxial):

- 10BASE5: estándar original de 10Mbps con coaxial grueso.
- 10BASE2: 10Mbps con coaxial fino.
- 10BASE-T: 10Mbps con par trenzado.
- 10BASE-F: 10Mbps con fibra óptica.

- 100BASE-T: 100Mbps con par trenzado.
- 1000BASE-X (serie): también conocido como Gigabit Ethernet, 1Gbps generalmente con fibra óptica.
- 10GBASE-X (serie): 10 Gigabit Ethernet.
- Otros. También se han estandarizado versiones de 40 y 100Gbps.

Los estándares IEEE se organizan de acuerdo al modelo de referencia de 7 capas llamado OSI (Open System Interconnection), creado con el fin de proveer un esquema común de estandarización de redes. OSI divide la tarea de interconectar redes para poder estandarizar cada sección.

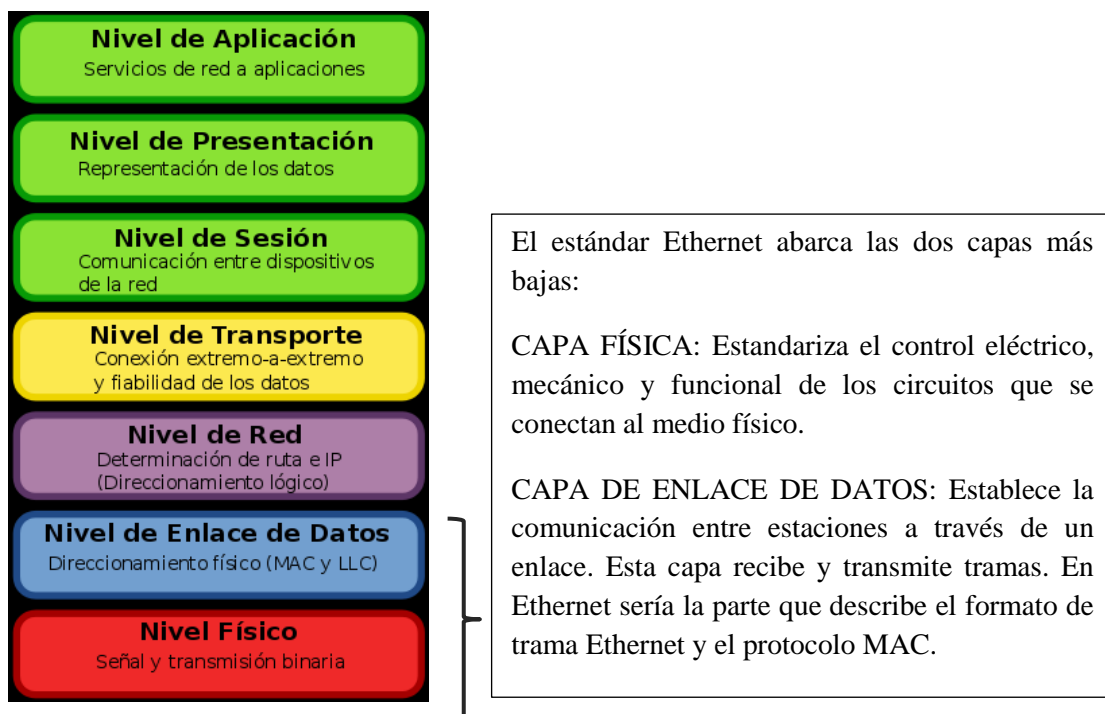


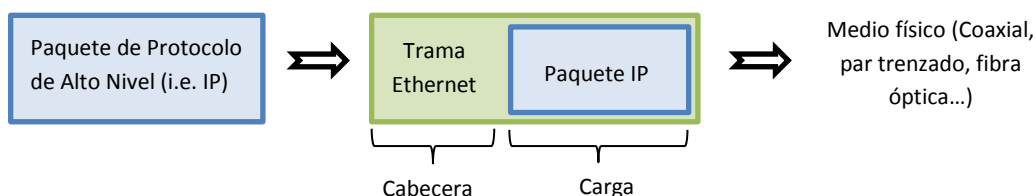
Figura 42: Modelo de Capas OSI

Las capas más bajas describen los estándares sobre cómo una red “mueve” los bits, mientras que las capas más altas corresponden a estándares que se encargan de la fiabilidad de la transmisión de datos y su representación al usuario final, entre otras cosas.

La capa inmediatamente superior a la de enlace de datos es la de Red. Esta capa se encarga de establecer la comunicación entre estaciones a través de una red, que estará compuesta por varios enlaces. Los protocolos de esta capa reciben los datos de los

protocolos de red de alto nivel que son transportados sobre Ethernet, en el campo de carga o “payload” de las tramas Ethernet. Los protocolos de la capa de red y superiores son independientes del estándar Ethernet, siendo los más usados la pila TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) pues, como su nombre indica, son los utilizados en la “red de redes”, Internet.

El hecho de que los protocolos de alto nivel sean independientes de Ethernet significa que diferentes ordenadores usando diferentes protocolos de alto nivel, pueden compartir el mismo sistema Ethernet sin problemas. Dicho de otra forma, Ethernet no sabe qué tipo de protocolo lleva encapsulado, simplemente es como un “camión” que transporta una carga entre dos estaciones.



**Figura 43: Trama Ethernet encapsulando un paquete IP**

La carga o “payload” es el campo de la trama Ethernet donde van todos los datos y, en el caso correspondiente, cabeceras de otros protocolos de capas superiores que pudieran formatear a los datos que se tramiten (IP, TCP, etc.). Tiene un mínimo de 42 o 46 Bytes hasta un máximo de 1500 Bytes.

Por sus características y ámbito de uso en su origen, Ethernet se planteó en un principio como un protocolo destinado a cubrir las necesidades de las redes LAN. Sin embargo, a partir de 2001 Ethernet alcanzó los 10 Gbit/s lo que dio mucha más popularidad a esta tecnología. Dentro del sector se planteaba a ATM como la total encargada de los niveles superiores de las redes de banda ancha, pero desde hace algunos años el estándar 802.3 y sus variantes de 1 y 10Gbps se han situado en una buena posición para extenderse al nivel WAN, pues funcionando junto a TCP/IP o MPLS ofrece una infraestructura de red basada en conmutación de paquetes capaz de transportar todos los tipos de tráfico, es decir, una red de siguiente generación o *all-IP*. Pero, ¿cuáles son las propiedades de Ethernet para haber sido elegida frente a las demás tecnologías?, ¿por qué se ha hecho tan popular?

- Bajo coste. La rápida evolución de las funciones/capacidades/medios físicos de Ethernet (compatibles entre sí) sumada a la adopción mundial de este estándar (en redes LAN al principio), provoca que la competencia entre fabricantes sea mayor y se permitan economías de escala, lo que se traduce en un abaratamiento de precios de los componentes de red Ethernet, sobre todo en comparación con los dispositivos ATM cuyo coste crecía linealmente con la capacidad.
- Escalabilidad. Las aplicaciones de datos tienden a crecer hasta llenar todo el ancho de banda disponible. Ethernet ha hecho frente a este hecho aumentando las capacidades desde los 10Mbps de su origen en 1980, a los 100Mbps en 1995 y a 1Gbps en 1998 (y mayores), con la ventaja añadida de que los interfaces de red que soportan 10Mbps también soportan 100Mbps, lo que permite una fácil transición pues no es necesario cambiar de tecnología. Muchos adaptadores de Ethernet y puertos de switches soportan múltiples velocidades, usando autonegociación para ajustar la velocidad y la modalidad dúplex para los mejores valores soportados por ambos dispositivos conectados.
- Granularidad. Las tramas Ethernet, a diferencia de las celdas ATM, no tienen una carga de tamaño fijo, sino que se adaptan a paquetes del nivel superior de desde 46 Bytes a 1500 Bytes. Esta propiedad y la anterior pueden observarse en la Figura 44.

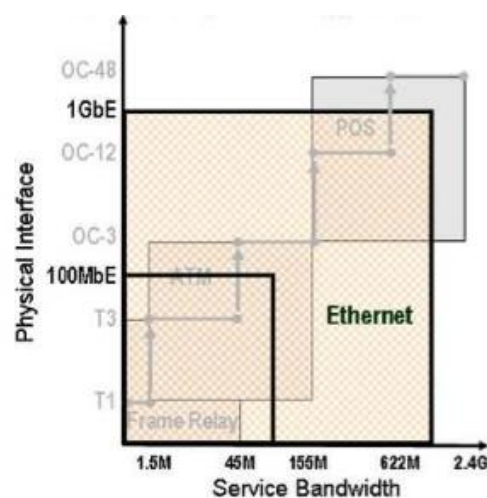


Figura 44: Comparativa de la capacidad y granularidad de Ethernet frente a otras tecnologías



- Fiabilidad. Ethernet utiliza un mecanismo de transmisión simple y robusto. El estándar basado en par trenzado como medio de transmisión se introdujo en 1987, lo que hace que sea fácilmente implementable en red de telefonía ya existente y por tanto ya dispone de una estructura fiable y basada en estándares, que además es simple, fácil de gestionar y flexible.
- Herramientas de gestión ampliamente disponibles. La amplia aceptación de Ethernet también favorece el desarrollo de múltiples herramientas de gestión y solución de problemas, como el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol).

A pesar de todas estas características, Ethernet presentaba algunas limitaciones que debían ser resueltas antes de poder extenderse a las redes convergentes, para lo que se fundó en 2001 el Metro Ethernet Forum. Los objetivos de esta asociación serían resolver las dificultades presentadas por Ethernet, definiendo y estandarizando servicios y atributos con el fin de promover la adopción de esta tecnología a nivel de red de acceso (WAN y MAN). La solución obtuvo el nombre comercial “Carrier Ethernet”, y básicamente consiste en la extensión de Ethernet para permitir a los proveedores de servicio de telecomunicaciones ofrecer a sus clientes servicios Ethernet y utilizar Ethernet en sus redes.

Los servicios Carrier Ethernet se pueden transportar sobre distintos tipos de redes, tanto de paquetes como de tecnologías *legacy*. Los atributos que diferencian a Carrier Ethernet de las clásicas redes LAN basadas en Ethernet son cinco:

- Calidad de Servicio (QoS) predecible
- Servicios estandarizados (E-Line, E-LAN, E-Tree)
- Escalabilidad (de 1Mbps a 10Gbps)
- Fiabilidad
- Gestión de servicios

Siendo los servicios estandarizados:

## E-Line (Ethernet Virtual Private Line)

Es un servicio de datos que proporciona una conexión Ethernet, también llamada Ethernet Virtual Connection (EVC), punto a punto entre dos interfaces UNI<sup>8</sup>.

Este tipo de servicio se utiliza para crear Líneas Ethernet Privadas (EPL) o Líneas Virtuales Privadas Ethernet (EVPL). Algunas de las aplicaciones prácticas del servicio E-Line las podemos encontrar entre equipos FP de NSN al establecer el Iub Ethernet/IP de un nodo B a través de dos o más de ellos, o entre equipos MPLS para establecer VPNs.

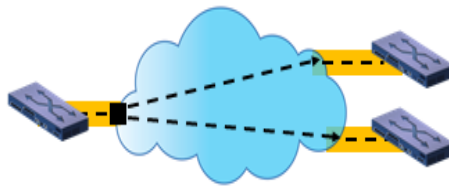


Figura 45: E-Line o EVC punto a punto

Entre dos interfaces pueden definirse múltiples servicios E-Line, que se diferenciarán entre sí mediante un parámetro llamado VLAN.

Cuando se requiere transportar tráfico TDM a través de la red Ethernet, se hace uso de un sistema de emulación de circuitos llamado CES, que recrea las condiciones de sincronismo y alta calidad propias de una conexión TDM a través de un servicio E-Line.

El funcionamiento es el siguiente: el flujo de bits de un tributario E1 llega a un equipo Carrier Ethernet, se fragmenta en segmentos de la misma longitud a los que se añade una cabecera para formar un paquete; los paquetes se transmiten por la red Ethernet hasta que llegan a su destino, donde se eliminan las cabeceras, se concatenan las tramas y se recupera la temporización, reconstruyendo el flujo de bits original.



Figura 46: Proceso de segmentación en paquetes de un flujo de tráfico TDM, que se produce en un Circuit Emulation Service (CES) [24]

<sup>8</sup> User-Network Interface: Puerto o interfaz físico que marca la separación entre el usuario y la red del operador. En el caso de la red Metro Ethernet, éste es un interfaz Ethernet de 10, 100, 1000 o 10000 Mbps.

## E-LAN (Ethernet Virtual Private LAN)

Es un servicio de datos que proporciona una conexión Ethernet, también llamada Ethernet Virtual Connection (EVC), multipunto a multipunto entre dos interfaces UNI.

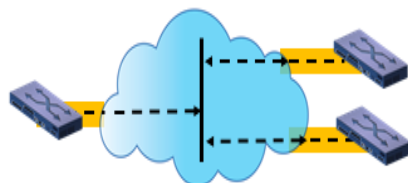


Figura 47: E-LAN o EVC multipunto a multipunto

Un servicio E-LAN puede ser de dos tipos: Ethernet Prívate LAN (EP-LAN) o Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN o VPLS), según si el interfaz UNI es dedicado o se multiplexan varios servicios a través del mismo. Soporta redes LAN transparentes y VPNs multipunto de capa 2.

En la práctica encontramos servicios E-LAN constituidos por grupos de equipos RTN de Huawei. Además, son una forma de proporcionar comunicaciones Ethernet multipunto a multipunto a través de la red IP/MPLS, permitiendo que emplazamientos dispersos geográficamente compartan un dominio de broadcast Ethernet conectándolos mediante PWE3. Este es uno de los principios de una red LAN, debe disponerse de una malla totalmente interconectada, lo que se consigue mediante protocolos como BGP (Border Gateway Protocol) o LDP (Label Distribution Protocol).

## E-Tree

La topología del EVC en árbol permite la conexión multipunto entre raíces y entre raíz y hoja, pero no entre hojas.

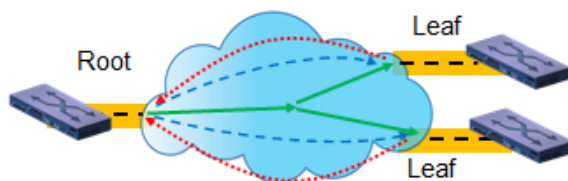


Figura 48: E-Tree

Además, estos servicios se definen en una capa superior a la red de transporte, lo que los hace independientes de la red de transporte a través de la que se establecen (SDH, MPLS, etc.).

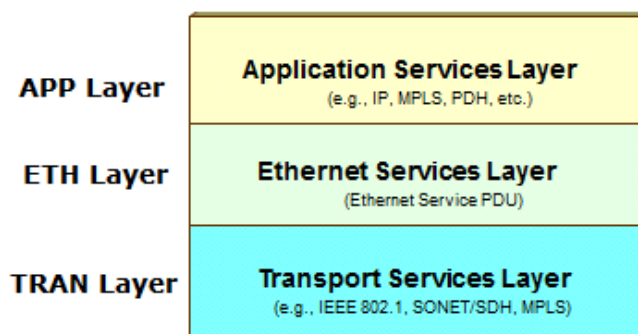


Figura 49: Posición de la Capa de Servicios Ethernet respecto a otras

La mayoría de operadores han decidido que utilizar Ethernet, o Carrier Ethernet, como tecnología portadora de los datos es la mejor opción para modernizar la red de transmisión existente, facilitando una infraestructura de red convergente que ofrece nuevos servicios de una forma efectiva y rentable para el operador, pues se reducen los costes de operación (OPEX). Esta infraestructura brinda el ancho de banda y los requerimientos de red para todos los servicios, tanto de carácter particular como empresarial, tanto voz como datos.

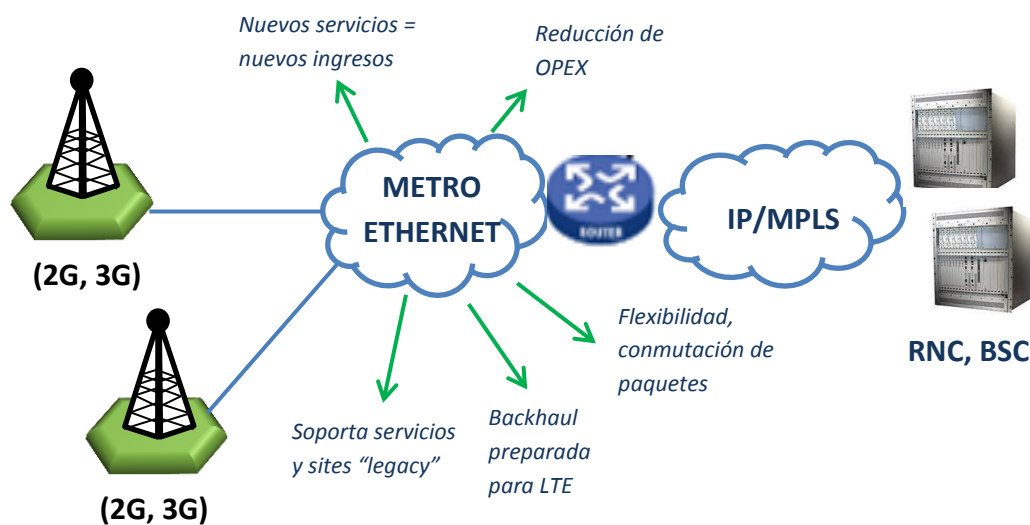


Figura 50: Esquema de la Red de Acceso y las ventajas de introducir Ethernet

Por otra parte, a los operadores móviles les interesa seguir utilizando la red existente a la vez que comenzar a utilizar los nuevos servicios ofrecidos por Ethernet, por lo que se presentan escenarios de red híbridos TDM/paquetes: la red TDM ya desplegada va a coexistir con los nuevos equipos Ethernet hasta que sea completamente migrada. Esta solución híbrida permite una migración gradual hacia la red basada en conmutación de paquetes, mientras la infraestructura preexistente y sus ingresos se mantienen, lo que supone una de las grandes ventajas de los equipos Ethernet.

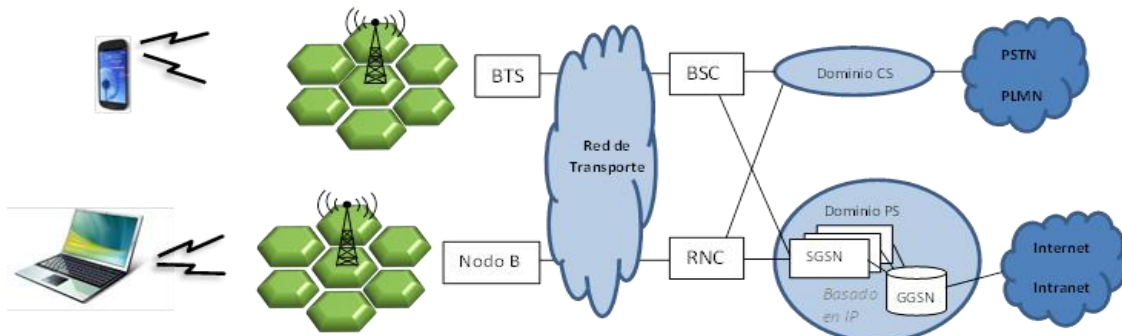
En resumen, las ventajas que introducen Ethernet y la transmisión mediante paquetes en la red de transporte son numerosas:

- 👉 Soporta todos los servicios, incluyendo los “legacy” (preexistentes).
- 👉 Esto significa que los servicios soportados por la red TDM pueden funcionar también en la red Ethernet (mediante emulación de circuitos CES o Pseudowires PSW3).
- 👉 Ahorro en costes de operación (OPEX) ya que existe una única infraestructura que mantener y operar.
- 👉 Red de transporte preparada para 4G, pues al final de la migración ésta será all-IP.
- 👉 Ofrece alta flexibilidad para transportar todo tipo de servicios, con varias velocidades y tamaño de paquetes posibles.
- 👉 El hecho de permitir la prestación de nuevos servicios a mayor ancho de banda permite a las operadoras recibir más ingresos por parte de los usuarios que hacen uso de ellos.
- 👉 Eficiente en costes y gestión del ancho de banda. Flexibilidad de topología.

## **4.2. Estrategias de Migración/Evolución**

Una vez conocida la motivación que lleva a las operadoras de comunicaciones móviles a realizar la migración de sus redes de transmisión de acceso hacia infraestructuras basadas en paquetes, así como las técnicas de transporte de datos que se van a utilizar y la justificación de por qué elegimos unas frente a otras (básicamente compartir recursos en lugar de dedicar), se debe planear una estrategia para llevar a

cabo la evolución. Debe tenerse en cuenta que ahora la red de transporte va a soportar múltiples servicios de distinta naturaleza (2G y 3G), garantizando la integridad de todas ellas de forma que los usuarios no noten diferencia en el servicio en función de la tecnología que les da soporte.



**Figura 52: Posición de la Red de Transporte o Transmisión respecto al resto de la red. Estaciones Base 2G y Nodos B 3G la comparten.**

En resumen, los retos que se presentan a las operadoras que desean mejorar su red son los siguientes:

- Adaptarse al explosivo crecimiento del tráfico de datos.
- Aprovechar las economías de escala logradas con las tecnologías de paquetes basadas en Ethernet.
- Superar la incertidumbre en las etapas de planificación (la red all-IP no se implanta de forma inmediata, las tecnologías TDM y ATM aún predominarán durante unos años).
- Lograr una escalabilidad mucho más efectiva en costes.
- Optimizar el uso del ancho de banda y las inversiones realizadas.
- Lograr una mayor flexibilidad para crear servicios diferenciados más rápidamente y a menor coste.
- No perder la fiabilidad y sencillez disponible en TDM.

Para superar estos retos es fundamental definir una estrategia de migración o de evolución. Las redes TDM existentes supusieron grandes inversiones por parte de los operadores que las desplegaron, por lo tanto, ahora es de esperar que la transición a una nueva red IP no se considere una tarea simple que pueda realizarse instantáneamente.

Por otra parte, durante la migración de la red de transmisión la experiencia de usuario no debe empeorar, o al menos, debe tratarse de reducir al máximo el impacto en el servicio.

Por este motivo, se presenta como algo obvio realizar una migración gradual o evolución desde las redes TDM de conmutación de circuitos, a tecnologías más modernas como son las de conmutación de paquetes con tecnología de transmisión Ethernet.

Además, es importante que los nuevos equipos que se instalen en la red puedan ser capaces de interoperar con los viejos. El hecho de realizar una transición gradual implica que, hasta que la red sea completamente migrada, en ella van a tener que coexistir las tecnologías y equipos preexistentes junto a los nuevos equipos Ethernet, es decir, se tendrá un escenario híbrido TDM/paquete que permita mantener la infraestructura existente y sus ingresos derivados hasta el despliegue completo de Ethernet. De esta forma se garantiza la rentabilidad de la inversión en los equipos: un elemento PDH está en servicio hasta el instante en el que se realiza el intercambio (swap) por el equipo Ethernet, que pasa a funcionar inmediatamente, apagándose el primero.



**Figura 53: Tecnologías y conceptos relacionados con la transición a la red all-IP**

La migración, por tanto, debe ser gradual pero, ¿cómo realizarla?, ¿por dónde empezar? Existen múltiples caminos alternativos. En este proyecto se van a desarrollar varias posibles estrategias. Las dos primeras serían similares por extensión de aquellas utilizadas en el procesamiento de la información o en los procesos de desarrollo software en computación, y hacen referencia a por dónde empezar la evolución:

- TOP-DOWN (método de capa o nivel)
- BOTTOM-UP (método de rama o isla)

Las siguientes cuatro estrategias desarrolladas hacen referencia a las diferentes tecnologías utilizadas para transportar los diferentes tipos de tráfico

- Red Paralela (overlay)
- Ethernet sobre TDM
- TDM sobre Ethernet
- Red Híbrida TDM/Ethernet/IP/MPLS

Cada operador puede decidir migrar su red utilizando la estrategia que mejor se adapte a sus necesidades, o puede llevar a cabo una solución mixta combinando los distintos enfoques. La última opción es la que se va a escoger en muchos casos, habiendo casi tantas posibilidades como operadores, por ello, esta alternativa mixta o híbrida es la que se va a desarrollar en este Proyecto Final de Carrera.

En estos apartados, de igual forma que en el resto del proyecto, se va a asumir que la red de transmisión de acceso se subdivide en dos:

- La Red Troncal de Acceso, con enlaces de mayor capacidad y donde se implementa SDH/ATM/MPLS<sup>9</sup>.
- El resto de la red desde la parte troncal hasta los Nodos B/BTS, donde no existe MPLS, sino que está formada por enlaces Ethernet/PDH/SDH.

#### **4.2.1. Estrategia Descendente o TOP-DOWN**

Este método, también llamado “método de capa” o “método de nivel”, consiste en introducir los nuevos elementos, véase equipos Ethernet o MPLS, a nivel de supernodos.

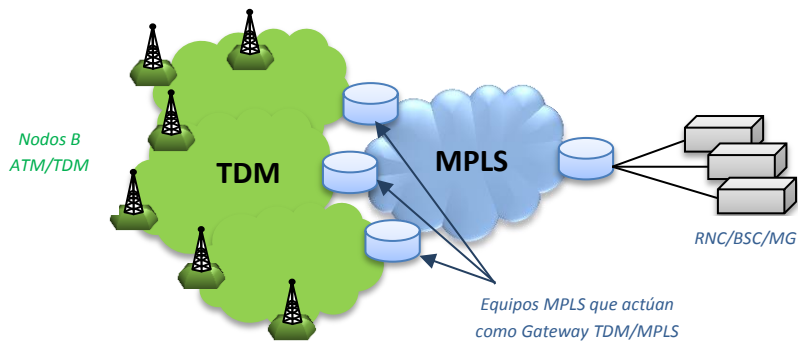
Los supernodos serían aquellos emplazamientos en los que confluye el tráfico de muchos nodos B y BTSs. Dicho de otra forma, con la aproximación top-down comenzamos la migración a IP por la parte de la red troncal de acceso, instalando

---

<sup>9</sup> Multiprotocol Label Switching. Por la compleja e importante función que realiza, MPLS se va a estudiar con más detalle en el Capítulo 5.



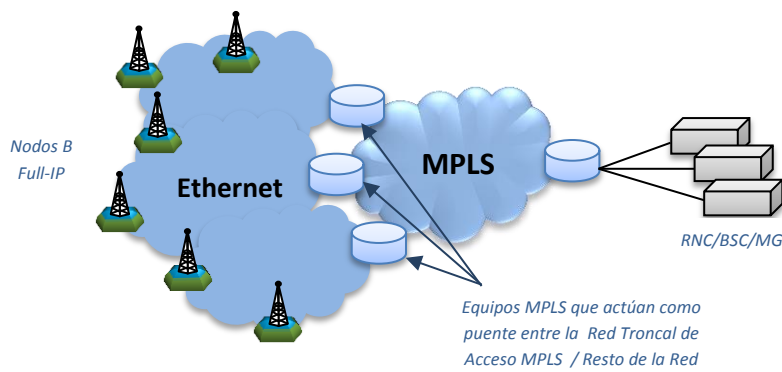
equipos MPLS en los grandes nodos concentradores, interconectando esos nodos a través de enlaces Ethernet de alta capacidad (>100Mbps). Este proceso termina en una nube de equipos MPLS y enlaces Ethernet que tiene conexiones, por una parte, con el centro de conmutación (RNC, BSC, Media Gateways), y por otra, con el resto de la red de acceso que aún sería TDM.



**Figura 54: Paso 1 - en la Migración con estrategia Bottom-Up: El núcleo de la red es IP/MPLS pero el resto sigue siendo TDM (PDH y SDH)**

La interconexión MPLS-TDM se realiza a través de los equipos MPLS externos (los que se encuentran en el borde la nube) que actúan como gateways o puentes, pues vienen equipados, además de con puertos Fast y Giga Ethernet, con múltiples puertos eléctricos PDH (E1) y ópticos SDH (155M) destinados a tal efecto. El tráfico ATM y TDM debe atravesar la red MPLS manteniendo sus características, lo que se consigue mediante pseudowires (PWE3).

El siguiente paso en la migración consiste en ir sustituyendo progresivamente los enlaces TDM hacia Ethernet, partiendo desde los supernodos hasta llegar a los nodos B (última milla). Una vez los nodos B disponen de una ruta Ethernet completa extremo a extremo hasta la RNC podremos constituirlos como *full-IP*, pero no antes.



**Figura 55 - Paso 2: Migrar el resto de la red a Ethernet progresivamente hasta la última milla. Los nodos B ya se pueden pasar a Full-IP**

Las VENTAJAS de la estrategia Top-Down son las siguientes:

- 👉 Las ventajas de MPLS (fiabilidad y QoS, agregación de tráfico, etc.) se comienzan a disfrutar desde el principio en los niveles altos de la red.
- 👉 Se eliminan/reducen los cuellos de botella en la red troncal de transmisión, pues los enlaces con más carga de tráfico se convierten en Ethernet (y por tanto se amplían) los primeros.
- 👉 Se simplifican los procesos de definición de los enlaces lógicos de nodos B, pues cuando alcanzan un equipo MPLS (con sus correspondientes LSPs ya definidos), su tráfico se introduce en la nube y sale por el extremo indicado, sin necesidad de especificar todos los tramos atravesados en ésta.
- 👉 Rápido progreso una vez se ha instalado una cierta cantidad de equipos MPLS y Ethernet, permitiendo configurar el funcionamiento extremo a extremo de nodos B en modo full-IP en cuanto se llega a ellos con una ruta completa Ethernet.

En cuanto a las DESVENTAJAS de este método se pueden citar las siguientes:

- 👉 La inversión realizada precede a los beneficios que perciben los usuarios y por tanto la operadora, pues el nivel más bajo de la red (que es el que llega al usuario final) no se actualiza hasta el final del proceso.
- 👉 La utilización inicial de los nuevos recursos desplegados es baja. Hasta que no se actualiza y se amplía el ancho de banda disponible en los nodos B y por tanto el tráfico que recorre la red, los recursos en la red troncal de acceso están infrutilizados.

- ☞ Es posible que los recursos asignados en la red troncal de acceso se queden cortos una vez se termina la migración, pues el tráfico generado por los nodos B crecerá de forma relativamente impredecible, pudiendo sobrepasar las expectativas. Se requiere por tanto un proceso de refinamiento y optimización constante.

#### 4.2.2. Estrategia Ascendente o BOTTOM-UP

Este método, también llamado “método de rama” o “método de isla”, consiste en migrar primero a Ethernet los niveles bajos e intermedios de la red. Esto quiere decir que radioenlaces PDH se sustituyen por radioenlaces Ethernet, y se pueden instalar equipos MPLS en algunos puntos escogidos, por ejemplo para brindar mejor servicio a grupos de usuarios seleccionados (centros financieros o de comercio, polígonos industriales).

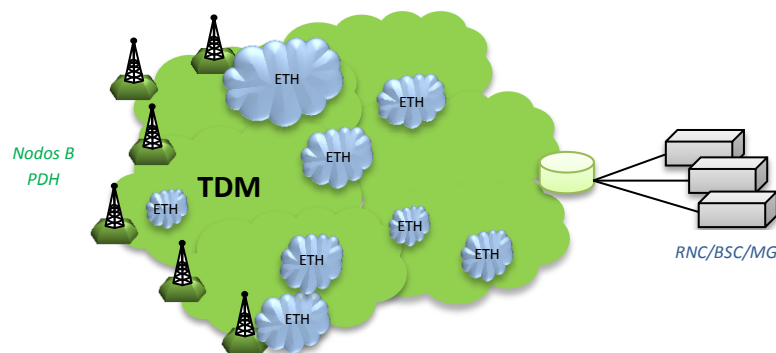


Figura 56: Islas Ethernet en la red TDM que se van creando en la estrategia Bottom-Up

Como criterio de partida, podríamos empezar por reemplazar aquellos enlaces que están al 100% de su ocupación o cerca del 100%, por enlaces Ethernet de mayor capacidad, que aliviarían el problema de saturación por el momento. También podrían instalarse equipos MPLS en algunos puntos estratégicos. Progresivamente se iría sustituyendo el resto de radioenlaces atendiendo al criterio que interese: zonas con previsión de crecimiento de usuarios, mayor utilización, más antigüedad, cadenas/ramas completas de radioenlaces, cambios de topología, etc.

En este método se van creando islas de elementos Ethernet dentro de la red TDM, que irán creciendo y enlazándose conforme se instalen más equipos Ethernet hasta que se convierta en una única nube Ethernet que sustituye a la red TDM. Mientras dure el proceso deben coexistir las tecnologías TDM y Ethernet, por lo que los equipos Ethernet disponen siempre de puertos PDH (E1), y casi siempre puertos SDH (155M).

Por último, el operador debe terminar de desplegar una red MPLS extensa que cubra los puntos más críticos de la red, proporcionándoles robustez así como conectándolos a los centros de conmutación. En esta red MPLS no pueden existir islas, es decir, todos los equipos MPLS deben estar conectados a otros mediante LSPs. Además, una vez creada la nube completa MPLS, ésta será atravesada por todos los elementos que necesiten llegar a la RNC, por lo que deberán existir interfaces de gran capacidad entre los equipos MPLS que se ubican en los centros de conmutación y las RNCs.

La red final debe quedar de la misma forma que se muestra en la Figura 55.

Las VENTAJAS de la estrategia Bottom-Up son las siguientes:

- 👉 Desde una fase temprana del proceso pueden ofrecerse mejoras en el servicio a los usuarios finales, siempre que se encuentren en una zona ya migrada (enlaces Ethernet y conexión a MPLS). Esto es interesante en grandes núcleos urbanos y entornos financieros, comerciales e industriales, donde pueden ofrecerse mejores servicios a particulares y empresas, a cambio de un importe económico mayor.
- 👉 Al sustituir primero los elementos en aquellos puntos donde más se necesitan, se garantiza una alta utilización de los mismos.
- 👉 Al dejar para el final la parte troncal de la red de acceso, es decir, el nivel más alto de la red, sabremos con mayor exactitud cómo debe dimensionarse para cubrir las necesidades que demandan los niveles bajos e intermedios. Esto requerirá menos correcciones en el futuro.

Las DESVENTAJAS de este método son las siguientes:

- 👉 Al crearse islas de equipos Ethernet rodeadas de equipos TDM, la funcionalidad completa de Ethernet no se obtiene hasta que consigan

enlazarse a la red MPLS o a otra isla que tenga acceso a MPLS. Es decir, se crean zonas Ethernet sin saber cómo ni cuándo se conectarán al resto de la red IP.

- ☞ Se crea un servicio diferenciado entre los usuarios que se mueven por una zona full-IP y los que lo hacen por una zona no migrada.
- ☞ Mayor esfuerzo de definición de enlaces lógicos de nodos B, pues si se encuentran muy alejados de la RNC y no tienen acceso a MPLS, hay que especificar todos los tramos atravesados extremo a extremo, lo que puede suponer más conexiones físicas a realizar, con la consiguiente mayor necesidad de mantenimiento (con más conexiones físicas la probabilidad de que alguna falle es mayor).

#### **4.2.3. Estrategia Paralelo**

En las estrategias anteriores se supone que los equipos nuevos entran en funcionamiento en cuanto se instalan y configuran, momento en el que además se apagan los equipos TDM a los que sustituyen.

En la estrategia “paralelo”, también llamada “overlay”, los nuevos equipos se instalarían en paralelo a los existentes, creando por lo tanto una segunda red basada en paquetes en paralelo a la TDM.

Lógicamente, no sería viable desplegar una segunda red completa y mantenerla apagada en espera del cambio, pues la red tiene grandes dimensiones y se necesita una alta inversión y mucho tiempo para desplegarla, y no sería rentable que durante ese tiempo los equipos no estén en uso, ya que no estaríamos aprovechando sus propiedades e incluso podrían quedarse desfasados.

Por lo tanto tendríamos dos redes independientes funcionando en paralelo: una basada en conmutación de circuitos que se encargaría de transportar el tráfico TDM de las estaciones 2G y tráfico sensible al retardo (real time) de los nodos B 3G, y una red basada en conmutación de paquetes que transportaría los datos y tráfico no sensible al retardo (non real time) de los nodos B (configuración Dual-Stack de un nodo B). De esta manera, cada tráfico se transmite de forma nativa.

La opción de esperar la puesta en funcionamiento es interesante si hablamos de módulos o cadenas de equipos/radioenlaces en la red, pues en esos casos podría ser útil esperar a que todos los nuevos elementos estén preparados para entonces realizar el cambio de tráfico de la red TDM a la Ethernet de una sola vez.

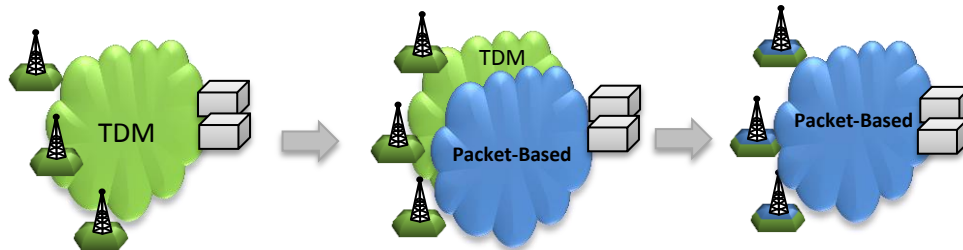


Figura 57: Esquema del proceso de migración a IP usando la Estrategia Paralelo

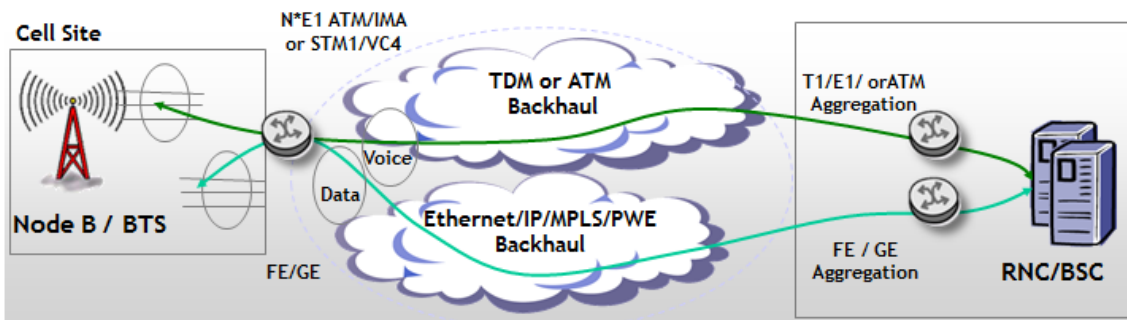


Figura 58: Escenario que se tiene en el paso intermedio: los servicios TDM y ATM van por la red legacy mientras que los servicios Ethernet van por la red IP [23]

Esta opción puede ser útil cuando el peso de los servicios TDM es mayor o equivalente al de los servicios Ethernet, o cuando el tráfico es muy crítico y no se pueden asumir cortes de tráfico durante la migración.

Como **VENTAJAS** podríamos citar:

- 👉 Esta estrategia permite realizar pruebas sobre el sistema completo antes de entrar en funcionamiento.
- 👉 En caso de aplicarse a módulos o cadenas permite aplicar la configuración full-IP a los nodos B implicados desde el principio. Por lo tanto los recursos se aprovechan más tiempo que si existen elementos aislados Ethernet en entornos aún TDM.
- 👉 En cuanto a la definición de los enlaces lógicos, con esta opción sólo se realiza un cambio de topología (de PDH o ATM a Ethernet), por lo tanto nos ahorramos

tener que migrar el tráfico (pseudowires) hasta que la red basada en IP se ha desplegado completamente.

- 👉 Técnicamente no tiene complejidad: el tráfico se transporta de forma nativa por ambas redes.

Las **DESVENTAJAS** de esta opción son numerosas:

- 👉 Requiere una alta inversión inicial (despliegue de una nueva red). Sería más asequible una inversión progresiva.
- 👉 Supone un costo adicional el hecho de mantener dos redes en lugar de una: se duplican costes de operación.
- 👉 Dos redes independientes con modelos de explotación diferentes: el personal de operación de red requiere formación en dos sistemas distintos y la provisión de un servicio requiere configurar muchos elementos de red y varios sistemas de red.
- 👉 Durante el tiempo que tarda en prepararse el módulo a sustituir hay equipos que no se están aprovechando. Si el proceso lo aplicáramos a la red completa, el nuevo despliegue tardaría meses o años en realizarse, y es inviable tener los equipos en espera tanto tiempo.
- 👉 Es más complejo de llevar a cabo, pues el proceso de migración no es instantáneo y en la mayoría de ocasiones se requiere coordinación de varios departamentos de la operadora, con la planificación y sincronización que eso conlleva entre todos. Además, dada la extensión de la red se necesitarían muchos recursos humanos para llevar a cabo el trabajo.

#### **4.2.4. Ethernet sobre TDM**

Esta forma de introducir Ethernet en la red consiste en simular o mapear Ethernet sobre los equipos y enlaces existentes TDM (PDH y SDH).

Los principales retos son realizar el transporte de tráfico de datos a un coste ajustado sin saturar la capacidad de la red TDM existente (PDH y SDH no están diseñados para soportar servicios Ethernet de alta capacidad).

Existen varias aproximaciones para conseguir una red de estas características:

- ☞ Evolución de las plataformas existentes con la introducción de nuevas tarjetas de datos (Ethernet, MPLS). Ejemplos de esto se pueden encontrar en los radioenlaces Traffic Node de Ericsson o en los SMX de Alcatel, que incorporaron tarjetas capaces de realizar el mapeo de Ethernet sobre PDH y SDH, respectivamente. También se simula la conmutación de paquetes sobre E1s mediante MLPPP entre equipos MPLS cuando no se dispone de conexión Ethernet.
- ☞ Alta granularidad para el mapeo de tráfico de datos de modo que se consuma la menor capacidad posible en la red TDM.
- ☞ Desarrollar herramientas de monitorización y provisión unificada.

Esta opción puede ser conveniente cuando el tráfico de datos está empezando a utilizarse en la red y aún no supone un volumen significativo del tráfico total, cuando la red TDM está sobredimensionada y cuenta con capacidad sobrante suficiente para introducir tráfico de datos, o cuando la desaparición del tráfico TDM se prevé a largo plazo.

- ☞ La ventaja de esta solución es que permite desplegar servicios Ethernet o MPLS con una simple actualización hardware, evitando el coste e instalación de equipos completos. Sin embargo, esta opción presenta importantes desventajas.
- ☞ Entra en juego el término “roadmap” u “hoja de ruta” de los equipos TDM existentes, que en este ámbito hace referencia a la planificación que un suministrador realiza para que sus equipos evolucionen, los objetivos que se quieren conseguir y en qué plazo. En esta opción la operadora depende del roadmap de los equipos existentes y las mejoras que ofrecen los suministradores a corto, medio y largo plazo. Es decir, la operadora depende de que los fabricantes desarrollen soluciones para actualizar sus equipos TDM de manera competitiva y adaptada las necesidades de cada momento, es decir, hacia IP/Ethernet. En ocasiones ocurre que surgen otros fabricantes con equipos de mejores prestaciones antes de que el suministrador habitual actualice los suyos. Un ejemplo es la entrada en el mercado de radioenlaces Ethernet de Huawei producida antes de que Ericsson o Siemens dispusieran de ellos, lo que obligó en



muchos casos a sustituir los equipos existentes por la imposibilidad de esperar a que éstos ofrecieran sus alternativas.

- ☞ Esta opción es válida mientras el tráfico de datos sea moderado (GPRS, EDGE, UMTS) y no dispongamos de una alternativa Ethernet/IP/MPLS nativa. En general, la tecnología TDM no es la adecuada para soportar las capacidades y prestaciones futuras de HSPA y 4G.
- ☞ Estudios han comprobado que el coste por bit es inferior utilizando Ethernet que utilizando TDM, por lo que además de ofrecer capacidades más altas, Ethernet es una opción más rentable para el operador. En la Figura 59 se aprecia que los costes de PDH crecen fuertemente con el ancho de banda (se asume que crece con los años), mientras que los costes de Ethernet crecen suavemente con grandes incrementos de ancho de banda. Esto se traduce en un ahorro de OPEX para la operadora, lo que termina de justificar por qué no se opta por la alternativa de despliegue Ethernet sobre la red TDM a gran escala.

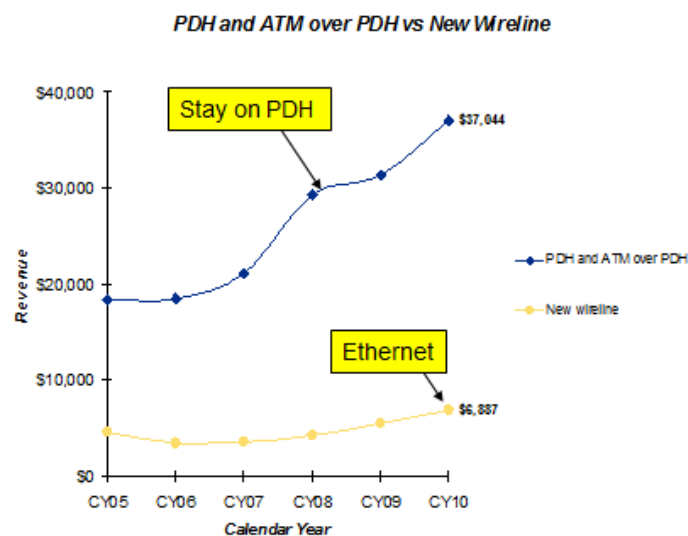


Figura 59: Comparativa de costes de aumentar la capacidad de la red de acceso utilizando PDH vs. Ethernet

#### 4.2.5. TDM sobre Ethernet

En esta solución se opta por sustituir la planta de red TDM totalmente, instalando equipos IP nativos. Para seguir haciendo uso de los servicios legacy, como el

tráfico TDM de las BTS 2G o el ATM/E1 de los nodos B, se deben utilizar tecnologías de emulación de circuitos tipo CES o PWE3 ATM y Ethernet (L3VPN<sup>10</sup>).

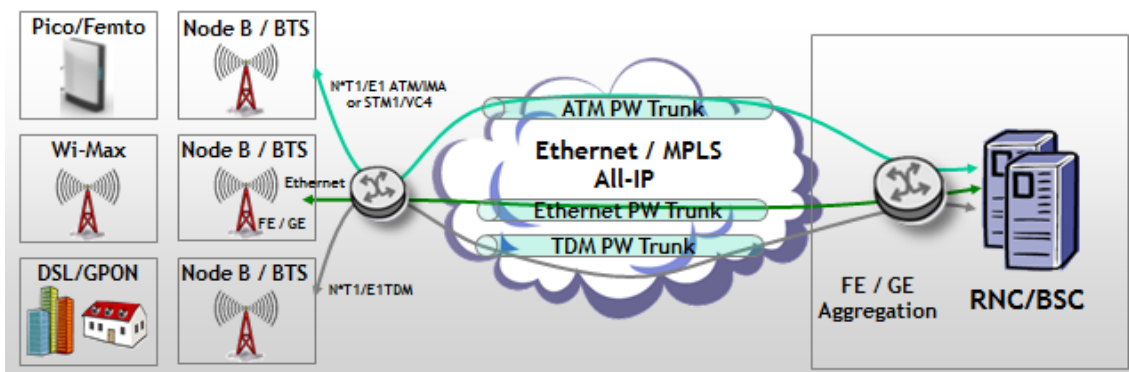


Figura 60: Esquema de la red totalmente basada en paquetes que transporta servicios legacy TDM y ATM utilizando pseudowires [23]

Los principales retos a los que se debe hacer frente a la hora de llevar a cabo esta aproximación son los siguientes:

- Debe realizarse un transporte “transparente” del tráfico TDM (cuidando el QoS, retardos, jitter).
- Debe recuperarse el sincronismo correctamente tras la fragmentación del flujo TDM en paquetes y su reensamblado en destino.
- Debe conseguirse una gestión (provisión y monitorización) simple y potente, para asegurar recursos disponibles en la red y QoS incluso ante situaciones de fallo.

Esta configuración requiere:

- Plataformas con tecnologías pseudowire.
- Mecanismos para conseguir el sincronismo como cabeceras RTP (Real-Time Protocol) o elementos extremos con acceso a la misma fuente de sincronismo para calcular el timestamp.

<sup>10</sup> Layer 3 VPN es una interconexión enrutada entre emplazamientos a través de la red enrutada de un proveedor. También se conocen como BGP/MPLS VPN, pues utilizan el protocolo de BGP para distribuir la información de routing de la VPN a través de la red del proveedor, y el protocolo MPLS para encaminar el tráfico de la VPN a través de la red de transporte hasta emplazamientos remotos. Proceso descrito en la RFC 4364 “BGP/MPLS IP Virtual Private Networks”.

- Soporte de mecanismos de Calidad de Servicio: sobre MPLS el CES se transmite por un LSP que soporte un PHB<sup>11</sup> de tipo Expedited Forwarding (EF), a través de otros sistemas de paquetes también se etiquetan los fragmentos con tipo de servicio EF.

Esta solución es apropiada cuando el tráfico TDM todavía constituye una parte significativa de la red y se requiere transmitir servicios de baja capacidad tipo E1 de las BTS 2G TDM, pero no justificándose operativa o económicamente el mantenimiento de la red TDM. Es la opción óptima en los escenarios en los que previsiblemente va a desaparecer el tráfico TDM residual a corto o medio plazo, que será reemplazado por servicios de datos, como voz sobre IP (VoIP).

En la práctica se utilizan estos métodos de emulación cuando el enlace Ethernet es de alta capacidad (un CES de un E1 ocupa más que el E1 de forma nativa) o no existe otra alternativa para la ruta TDM.

#### **4.2.6. Red Híbrida TDM/Ethernet/IP/MPLS**

En una red de transporte híbrida coexisten las tecnologías legacy con las nuevas tecnologías IP, Ethernet y MPLS, de manera que en ocasiones pueden transportarse de forma nativa y en otras deben hacer uso de pseudowires.

Es una combinación de las opciones anteriores, donde a cada escenario o sección particular se aplica la solución más adecuada según sus necesidades, y por este motivo es la alternativa de migración que suele seguirse. La filosofía que se viene aplicando a las redes de transporte en los últimos años es la de conmutación de paquetes, tanto para migrar la red existente como para nuevo despliegue. Sin embargo, como se ha mencionado, este proceso no es instantáneo y tampoco es viable mantener dos redes completas e independientes, por lo que en la fase intermedia van a coexistir servicios y equipos TDM y Ethernet. Por otra parte, si toda la red se basara en emular Ethernet sobre TDM se estarían perdiendo las oportunidades y ventajas que ofrecen los servicios IP o Ethernet nativos, siendo éstos más rentables, e incluso pudiendo no cubrirse las demandas de ancho de banda a medio/largo plazo. Así mismo, dada la carga de tráfico

---

<sup>11</sup> Per Hop Behavior

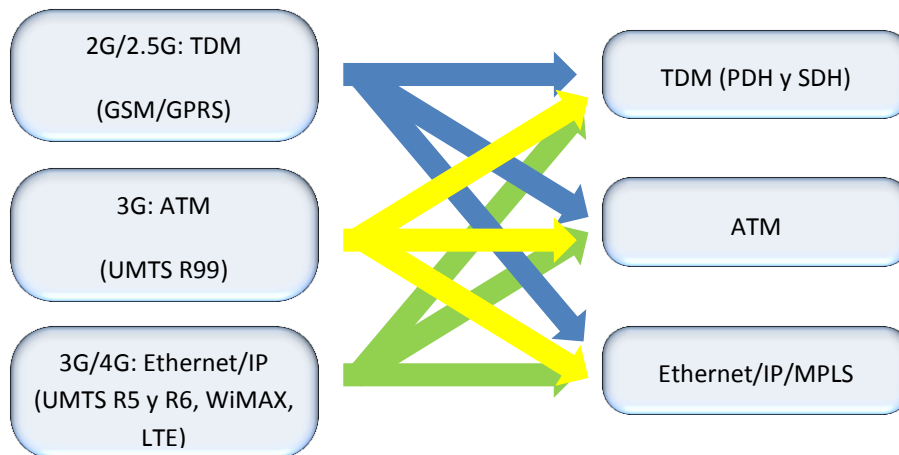
TDM procedente de estaciones base 2G, lo óptimo es mantener la red troncal SDH hasta la convergencia de tráfico en una red all-IP.

De esta forma, en la misma red se pueden encontrar:

- Cadenas de radioenlaces homogéneas PDH o Ethernet.
- Cadenas formadas por radioenlaces PDH y Ethernet.
- Red troncal de acceso SDH en anillo de fibra óptica o radioenlaces STM-1.
- Red troncal de acceso MPLS con LSPs sobre TDM, Ethernet, SDH.
- Estaciones base 2G con Abis TDM nativo (ruta PDH/SDH hasta BSC) o con Abis atravesando equipos Ethernet y/o MPLS mediante CES.
- Nodos B con Iub ATM/IMA E1.
- Nodos B con Iub Dual Stack (ATM+IP).
- Nodos B Full-IP.
- Recursos duplicados como medidas de protección en lugares puntuales.
- Redes Privadas Virtuales TDM o Ethernet.
- Emplazamientos convergentes o all-IP donde se ha unificado el Abis y el Iub en un único flujo Ethernet.

Esta configuración es más compleja, pues todos los tipos de tráfico coexisten en una red heterogénea, siendo los principales retos conseguir el transporte de tráfico TDM de manera “transparente” (cuando no sea de forma nativa) a un coste adecuado, conseguir una gestión de la red simple y unificada, proporcionar niveles de QoS, plataformas con soporte de pseudowires así como mecanismos de sincronización.

Los operadores que daban servicio GSM, GPRS y UMTS adoptaron redes de agregación ATM. Sin embargo, poco tiempo después los servicios IP se extendieron a la tecnología móvil de la mano de HSPA y 4G, por lo que el primer paso de la migración consistió en sustituir los equipos ATM por equipos MPLS (estrategia Top-Down). En ese momento los enlaces Ethernet eran escasos (DSL) o inexistentes, por lo que el tráfico ATM de los nodos B se migró a la red MPLS mediante PWE3 emulando circuitos punto a punto a través de la misma. Los enlaces lógicos de las BTS 2G no resultaron afectados por este cambio, pues circulaban por la red TDM (PDH y SDH hasta la BSC).

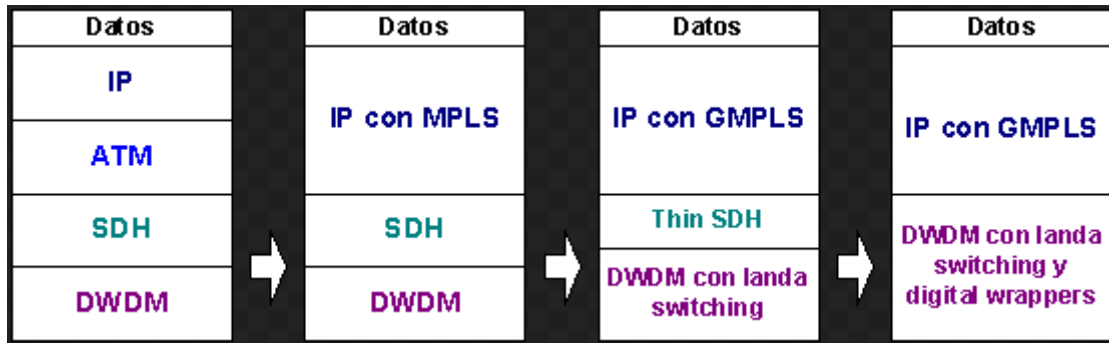


**Figura 61: Tecnologías y estándares que deben convivir en la red de transmisión durante el proceso de evolución a la red all-IP o de paquetes**

A partir de ese momento se fue desplegando la planta de radioenlaces Ethernet, comenzando por los tramos donde se requería mayor capacidad que la existente: entre equipos MPLS con gran concentración de tráfico para permitir más adelante el paso a full-IP de los nodos B, radioenlaces PDH con todos sus flujos ocupados que impedían aumentar la capacidad de Iub de nodos B que la necesitaban, núcleos de población, etc. En algunos casos dichos radioenlaces Ethernet sustituyen a radioenlaces PDH, migrándose el tráfico de uno a otro (ejemplo de escenario donde se puede producir el transporte de TDM sobre Ethernet). En otros casos se trata de radioenlaces de nuevo despliegue cuya finalidad es poner en servicio un nuevo nodo B o cambiar la topología de la red en alguna zona. En este punto intermedio se pueden encontrar islas Ethernet como se menciona en la estrategia Bottom-Up y se observa en la Figura 56. Eventualmente, un nodo B podrá configurarse como full-IP en el momento en que disponga de una ruta completa Ethernet hasta el equipo MPLS más cercano (si éste tiene LSP sobre Ethernet o MLPPP).

En esta opción la planta de radioenlaces PDH tiende a desaparecer, sustituida por radioenlaces Ethernet (capaces de soportar circuitos E1 nativos o emulados). En cuanto a la red SDH, deberá adaptarse para ser capaz de transportar paquetes,

utilizándose como capa física de MPLS o incluso eliminándose, dando paso a una capa óptica DWDM (Figura 62).



Es importante mencionar que esta estrategia elegida se presenta como óptima para realizar una evolución gradual que permita asumir una razonable carga de trabajo por parte de los ingenieros y técnicos encargados de su diseño y realización física, así como repartir los gastos y la inversión económica que debe asumir la operadora en un cierto lapso de tiempo. Además, siempre que sea posible se tratará de utilizar y reutilizar el equipamiento existente hasta la completa implantación de los sistemas Ethernet, IP y MPLS. Precisamente, dados los volúmenes de trabajo y gasto económico ya realizados y por realizar, se considera más una evolución que una migración de la red.

### 4.3. Equipos disponibles en el mercado

Podría decirse que en el mercado globalizado especializado en el sector de redes y transmisión, existen infinidad de equipos que están disponibles para utilizarlos en nuestra red: de distintos tipos, fabricantes, precios, etc.

Una buena opción sería elegir un determinado fabricante para que nos suministrase todos los equipos del mismo tipo, es decir, que todos los radioenlaces fuesen del mismo fabricante, o todos los nodos B, o todos los equipos MPLS, etc. De esta manera nos aseguraríamos de que el inter-funcionamiento es el óptimo. Sin embargo, en algunos casos no va a ser fácil conseguir esta homogeneidad o simplemente no va a resultar algo crítico, en cuyo caso puede ser mejor diversificar y

disponer de varios suministradores alternativos para no depender completamente de uno solo.

En el caso de nodos B o equipos MPLS, la mejor opción es que todos sean del mismo proveedor. Los primeros se escogen del mismo fabricante que proveerá nuestras RNCs para garantizar que se “entienden” de manera óptima a través del interfaz Iub; en cuanto a los segundos, también es conveniente que compartan las mismas funcionalidades y lenguaje (aparte de que se encuentran menos opciones en el mercado para equipos MPLS).

En cambio, en lo referido a radioenlaces Ethernet esto no es tan crítico, siempre y cuando los equipos elegidos cumplan los estándares y por tanto puedan interconectarse y funcionar sin problemas. Lo habitual es que la operadora disponga de contratos con varios suministradores, pero no muchos, pues así se garantiza la disponibilidad de un determinado stock por una parte, y por otra permite a los ingenieros de diseño de la red elegir el equipo que mejor se adapte a las necesidades concretas de cada escenario. El hecho de tener un número limitado de proveedores consigue una red no excesivamente heterogénea, siendo habitual diseñar las cadenas de radioenlaces utilizando los mismos equipos.

#### **4.3.1. Nodos B**

El nodo B es el elemento de la red 3G que permite a los usuarios de una operadora acceder a su red 3G a través del terminal móvil, por lo que equivale a la BTS en la red 2G. Existe un nodo B por celda 3G (habitualmente en el centro de ésta), a la que da cobertura.

La principal función que realizan los nodos B es el tratamiento de la señal radio que se transmite/recibe a través de las antenas. Se encarga de modular/demodular la señal radio hacia la MS, así como controlar la potencia de emisión. También realiza el mapeo entre los timeslots del interfaz Um y los timeslots del interfaz Abis. Las funciones más inteligentes, como pueden ser los handovers o la autenticación de los terminales móviles, son gestionadas desde otros elementos de la red (BSC).

#### **4.3.1.1. Nodos B de Huawei**

Huawei Technologies Co., empresa china especializada en productos de telecomunicaciones desde dispositivos móviles hasta elementos de redes, ha crecido de forma vertiginosa durante los últimos años. Su variada oferta de productos de altas prestaciones a precios competitivos, le ha granjeado multitud de contratos con grandes operadoras y un gran respeto y reputación en el sector a nivel mundial, desbancando en muchos países a los tradicionales suministradores.

La oferta de productos abarca terminales telefónicos (módems, tabletas, teléfonos móviles, smartphones), conmutadores, redes de acceso integradas y de Nueva Generación (NGN), xDSL, transporte óptico, redes inteligentes, GSM, GPRS, EDGE, W-CDMA, CDMA2000, una serie completa de routers y conmutadores IP e IP/MPLS, videoconferencia y equipamiento a otros campos clave de la tecnología de telecomunicaciones.

Huawei ha conseguido estar presente en muchas redes de Tercera Generación del mundo y ya es el primer fabricante en número de contratos para desplegar las tecnologías 4G. Veamos su oferta en lo que a Nodos B 3G se refiere.

Los modelos disponibles son las familias o series 3800 y 3900, en versión BTS o DBS (Distributed Base Station). Ambos modelos de nodo B pueden estar preparados para ofrecer varias tecnologías o modos y permiten distintas opciones de transporte en el interfaz Iub (ver página 117).

Las estaciones multi-modo de la serie 3900 están basadas en conmutación IP y sus puertos están preparados para ofrecer hasta 100Mbps, asegurando la compatibilidad con el progresivo crecimiento de los servicios de datos móviles y la velocidad de transmisión ofrecida a los usuarios.

Concretamente, el modelo más interesante de la gama es el nodo B distribuido DBS3900, siendo algunas de sus características su diseño modular y flexible, tamaño compacto, fácil integración, bajo consumo energético y despliegue fácil y rápido. Este modelo facilita la elección del emplazamiento, permitiendo coubicación de 2G y 3G, así como la planificación y optimización de la red [16].



Los nodos B están compuestos por los siguientes elementos hardware principales:

- BBU: La unidad central de procesamiento en banda base.
- RRU/WRFU/MRFU: La Unidad de Control de Radio Remoto o Módulo de Radiofrecuencia.

### **BBU (BaseBand Unit)**

Es la unidad central del nodo B o estación base, consiste en una pequeña caja en cuyo frontal se encuentran los puertos externos. Se encarga de la comunicación entre el Nodo B y la RNC (Iub) y del procesamiento de las señales en banda base. Su formato modular consiste en varios subsistemas básicos con diferentes funciones y tarjetas que se instalan/configuran en el panel frontal según requerimientos:

El *Subsistema de Transporte* es el que provee los puertos físicos (cuatro puertos E1 y dos Fast Ethernet) para conectar el nodo B con la RNC a través del interfaz Iub, así como un canal O&M para conectarlo con el OMC (Operations & Maintenance Center).

El *Subsistema de Banda Base* procesa los datos de los enlaces Uplink y Downlink en banda base (un módulo de procesamiento por enlace, con demodulador y decodificador en UL, modulador y codificador en DL), e incluye un interfaz CPRI<sup>12</sup> que conecta la BBU con la RRU (equipos de radiofrecuencia).

El *Subsistema de Control* se encarga de la gestión de todo el nodo B, realiza O&M (gestión de la configuración del equipo, gestión de alarmas software), procesa la señalización (protocolos NBAP, ALCAP y SCTP) y provee el reloj de referencia del sistema (lo extrae del interfaz Iub).

Por último, el Módulo de Energía se encarga de transformar la tensión de entrada en la tensión requerida por cada panel.

---

<sup>12</sup> CPRI: Common Public Radio Interface



**Figura 63: Aspecto de una BBU y RRU, ambas unidades del modelo 3900**

La BBU también posee dos puertos USB para realizar actualizaciones del software del nodo B y testear la señal de reloj, así como un puerto Ethernet para mantenimiento y comisionado en local. Además, en la BBU se configuran las tarjetas según la tecnología de funcionamiento.

En el panel frontal de la BBU en la Figura 63 se puede observar la configuración modular que permite, mediante ranuras donde se instalan las tarjetas según sea necesario. Las principales tarjetas que podemos encontrar son:

- **WMPT** (WCDMA Main Processing & Timing unit). Esta tarjeta es fundamental y obligatoria para el nodo B. En su frontal se encuentran los puertos de transmisión E1 (4 puertos en la BBU3900 y 8 en la BBU3800) y Fast Ethernet (uno óptico y uno eléctrico) para el Iub, un puerto Ethernet para O&M, y los puertos USB para instalación, configuración y actualización de hardware, y testeo. Esta tarjeta también maneja los recursos para otras tarjetas de la BBU, proporciona el reloj de referencia así como el canal de O&M para conexión con el OMC (LMT o M2000). Se pueden instalar hasta dos WMPTs (principal y protección).
- **GTMU** (GSM Transmission & Timing Unit). Es la tarjeta equivalente a la WMPT pero para la configuración de GSM, sólo se inserta en caso de desear tener cobertura GSM (por tanto es opcional).
- **WBBP** (WCDMA Baseband Processing unit). También es una unidad obligatoria para el nodo B. Esta unidad proporciona los interfaces CPRI para la

comunicación entre la BBU y las unidades de radiofrecuencia RRU/WRFU/MRFU, soportando la configuración 1+1 para protección. Por lo tanto, es la unidad que procesa las señales en banda base de los enlaces uplink y downlink.

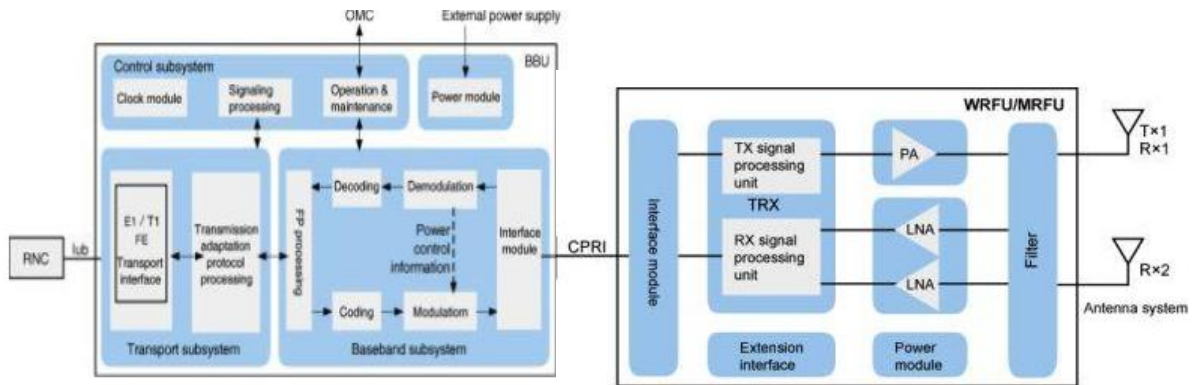


Figura 64: Esquema funcional y modular de un nodo B (BBU + RRU)

- UPEU (Universal Power and Environment Interface Unit). Esta tarjeta es la encargada de todos los aspectos relacionados con la alimentación de la BBU al completo.
- FAN Unit. Esta unidad es la encargada de controlar la velocidad del ventilador, monitoriza la temperatura y la disipa de la BBU.
- UTRP (Universal Transmission Processing unit). Esta tarjeta es opcional, pudiendo añadirse al panel de la BBU para incorporar ciertas capacidades a todo el equipo. Por ejemplo, podemos instalarla en una BBU 3900 para disponer de hasta 8 puertos E1 en el nodo B, pues sin ella sólo podremos tener 4 E1s.
- UELP y UFLP. Ofrecen protección frente a picos de tensión a los puertos E1 y Ethernet, respectivamente.

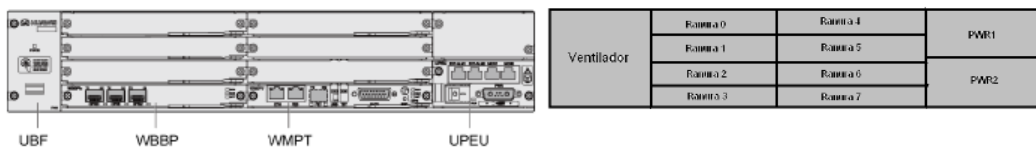
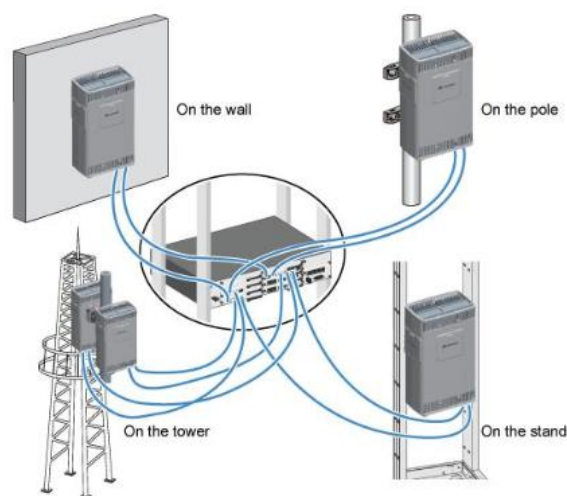


Figura 65: Frontal de BBU3900 con WMPT, UPEU y WBBP. En las ranuras vacías se pueden insertar otras tarjetas, por ejemplo UTRP o GTMU. Al lado se muestra la numeración habitual de las ranuras donde se insertan las tarjetas.

Sobre los nodos B de Huawei corre un software de control y gestión que se llama TOE (Target of Evaluation). Los técnicos e ingenieros de red del operador propietario pueden acceder tanto local como remotamente (mediante el servidor M2000) al TOE para poder realizar tareas de gestión y configuración del equipo. El software incluye un protocolo de acceso con identificación y autenticación mediante nombre de usuario y contraseña, así como distintos perfiles de acceso (administrador, sólo lectura).

### **Módulo de Radiofrecuencia WFRU / MFRU / RRU**

La RRU también tiene un diseño compacto y ligero de peso, bajo consumo energético y alta eficacia del amplificador de potencia. Puede ser instalada cerca de la antena para disminuir las pérdidas del alimentador y mejorar la cobertura, y se conecta a la BBU mediante fibra óptica (interfaz CPRI) (ver Figura 63 y Figura 64) lo que disminuye las pérdidas por atenuación. La RRU permite varias opciones de instalación: en pared, torre, mástil.



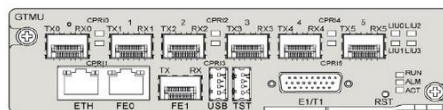
**Figura 67: Configuraciones de la RRU**

**Otros:** APM, sensores, baterías.

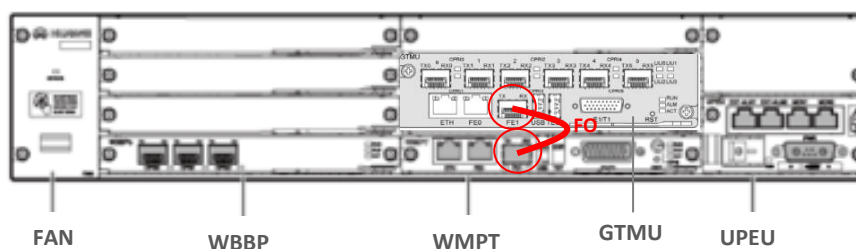
#### 4.3.1.2. Single BTS de Huawei

La modularidad ofrecida por las BTS de Huawei permite incluso disponer en la misma BBU tanto de una Estación Base GSM como de un Nodo B UMTS, y además extraer todo el tráfico de forma unificada en un único flujo de datos Ethernet. Es decir, todas las tecnologías en un solo equipo, un solo emplazamiento y con una única gestión O&M.

Esta configuración de transmisión convergente, también llamada cotransmisión, se consigue instalando en la BBU la tarjeta GTMU mencionada en el apartado anterior, y conectándola a la WMPT a través de los puertos FE ópticos que disponen ambas tarjetas. De esta forma, el tráfico entra/sale agregado por el interfaz FE eléctrico de la WMPT hacia la red de transporte. El equipo controlador, llamado MBSC o Multimode BSC, haría las veces de BSC y RNC, gestionando todas las comunicaciones y permitiendo realizar un balance de carga entre tecnologías para evitar saturaciones.



**Figura 68: Detalle de la tarjeta GTMU (GSM Transmission and Management Unit).**



**Figura 69: Conexión entre puertos Fast Ethernet ópticos de la GTMU y la WMPT para conseguir cotransmisión.**

Al ser una transmisión basada en IP, la diferenciación de tráfico 2G y 3G se hace mediante las direcciones IP de las tarjetas y de sus puertos. La configuración de este tipo de Iub/Abis es similar al de la definición de uno full-IP, añadiendo los parámetros correspondientes a la parte 2G.

### 4.3.2. Radioenlaces Ethernet

Un radioenlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía ondas radioeléctricas (microondas) de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí, y entre los que debe existir línea de visión directa (LOS: Line of Sight). La transmisión a través de los mismos es dúplex y podemos clasificarlos en varios grupos según distintos criterios:

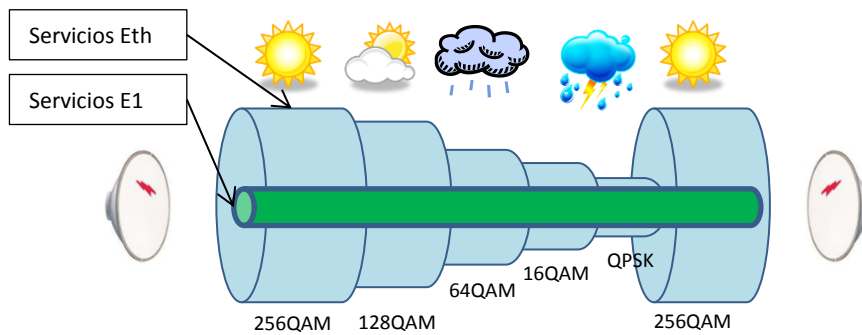
Según CAPACIDAD	Baja capacidad < 40Mbps Media capacidad Alta capacidad > 100Mbps
Según PROTECCIÓN	Con protección: configuración 1+1 Sin protección: configuración 1+0
Según TECNOLOGÍA	SDH PDH Ethernet Híbrido (Ethernet + PDH)

Tabla 7: Clasificación de Radioenlaces

En este apartado se va a prestar atención a los radioenlaces que utilizan el estándar Ethernet como tecnología de transporte de los datos por el aire, en sus versiones Híbrida y Nativa. Las ventajas que presentan frente a los radioenlaces PDH que se utilizaron para el despliegue inicial son numerosas:

- 👉 **Mayor capacidad** (hasta 200Mbps con modulación 256QAM).
- 👉 Capacidad compartida por todos los enlaces lógicos que lo atraviesan (agregación de enlaces): **Multiplexación Estadística**.
- 👉 Reportan **estadísticas de ocupación**.
- 👉 Soportan **servicios legacy** (ATM, TDM).
- 👉 **Modulación adaptativa** en función de las condiciones atmosféricas. Cada modulación permite una determinada capacidad de tráfico, por lo que el hecho de que ésta sea adaptativa significa que la modulación va variando desde la

máxima o nominal<sup>13</sup> cuando las condiciones climatológicas son más favorables, hasta una modulación mínima o de referencia<sup>14</sup> cuando las condiciones se vuelven adversas (ver Figura 70). Conforme el canal empeora la modulación va bajando y por tanto va disminuyendo la capacidad. Esta disminución se aplica sobre el flujo Ethernet, pero no debe afectar al tráfico TDM pues entraría en corte. Por este motivo, los radioenlaces que vayan a tener tanto tráfico TDM (por ejemplo si van a sustituir a un radioenlace PDH con tráfico de BS GSM o DCS) como Ethernet deben diseñarse para que en el caso peor del canal, la capacidad cubra siempre el tráfico TDM.



**Figura 70: Modulación Adaptativa de un Radioenlace Ethernet**

#### **4.3.2.1. Tipos de Radioenlaces Ethernet**

Tal como muestra la Tabla 7, según la tecnología usada los radioenlaces pueden clasificarse en tres categorías:

- TDM (PDH y SDH)
- Híbridos
- Puramente Ethernet

<sup>13</sup> Utilizando modulación adaptativa, se denomina modulación nominal a la más alta a la que puede funcionar el radioenlace, esto es, en condiciones del canal óptimas. Esta modulación equivale a la máxima capacidad de tráfico que soporta el radioenlace.

<sup>14</sup> Utilizando modulación adaptativa, llamamos modulación de referencia a la más baja a la que va a funcionar el radioenlace antes de cortarse por empeoramiento de las condiciones del canal. La modulación de referencia equivale a la capacidad más baja del radioenlace.

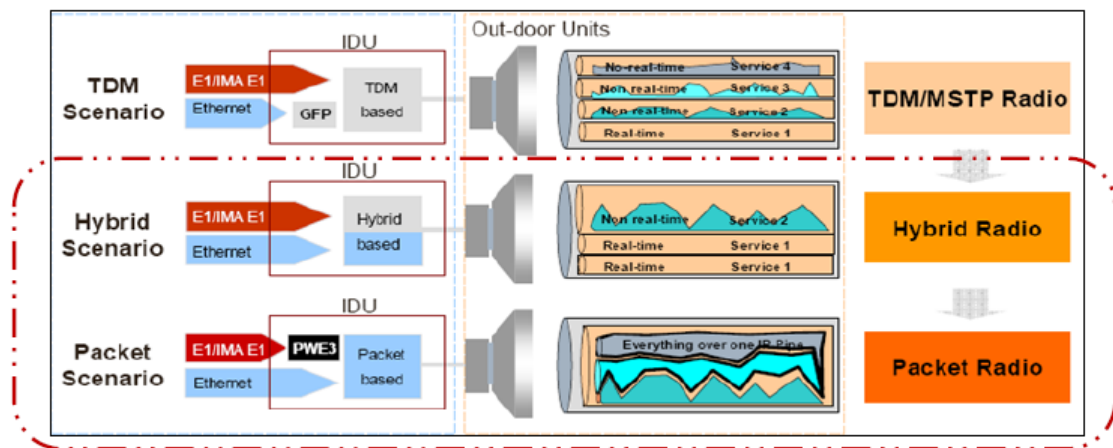


Figura 71: Esquema de funcionamiento de los radioenlaces TDM y Ethernet (versión híbrida y Ethernet pura)

En la Figura 71 se puede observar el funcionamiento de los distintos tipos de radioenlaces, siendo los dos inferiores los correspondientes a radioenlaces Ethernet.

Los radioenlaces híbridos permiten definir flujos E1 (servicios *legacy* TDM) de igual forma que en los radioenlaces PDH, mientras que la capacidad restante (no TDM) se utiliza por completo para tráfico Ethernet. Un ejemplo de este tipo de radioenlaces son los RTN de Huawei o los Traffic Node de Ericsson.

En cambio, los radioenlaces Ethernet puros utilizan toda la capacidad para envío de tráfico de paquetes. Esto significa que para transmitir tráfico TDM a través de ellos se deben crear circuitos CES, es decir, emular un circuito punto a punto (se define un CES por cada E1 que pase por ellos). Para tráfico ATM (IMA E1) se crean también pseudowires (IMA), mientras que para tráfico Ethernet se crean servicios E-Line (uno por cada nodo B, diferenciados mediante un parámetro local llamado ID de Servicio VLAN). Un ejemplo de este tipo de radioenlaces son los FlexiPacket de Nokia Siemens Networks (NSN).

#### 4.3.2.2. Diseño de un Radioenlace Ethernet

De igual forma que en el caso de un radioenlace PDH, la tarea del ingeniero de transmisión es la de realizar un diseño de radioenlace correctamente, es decir,



garantizando que ciertos parámetros se mantengan en unos rangos aceptables. Por ejemplo, que su disponibilidad sea la más alta posible y realice la transmisión de los datos con calidad, pero que no interfiera con otros radioenlaces cercanos.

Debido a la cantidad de parámetros y factores implicados que harían extremadamente tediosa la tarea de realizar cada diseño de radioenlace (cuando no imposible) al deber tener en cuenta las interacciones con todos los ya existentes, los diseñadores hacen uso de herramientas de diseño asistido por ordenador, que realizan todos los cálculos complejos. La tarea del ingeniero de diseño, por tanto, consistiría en introducir los parámetros de diseño iniciales, realizar la simulación y cálculo con los que obtenemos los datos finales (potencia recibida, disponibilidad, interferencias, margen de fading), y si es necesario (los resultados no son aceptables) vamos modificando parámetros, recalculando y afinando hasta conseguir que todos los parámetros cumplen los requisitos. El proceso, por tanto, suele ser iterativo.

Puesto que se trata de conocer el proceso de evolución de la red de transmisión hacia all-IP, y los radioenlaces Ethernet son una parte esencial del mismo (tanto en nuevo despliegue como en sustitución de PDH), se va a desarrollar en este apartado su proceso de diseño. El diseño de un radioenlace PDH sería similar, con la diferencia de que no realizan modulación adaptativa.

Los parámetros de diseño que se suelen tener en cuenta son múltiples:

Parámetros iniciales	Parámetros calculados/elegidos posteriormente
Potencia Transmitida (dBm)	Canal de frecuencia
Atenuación por lluvia (modelos)	Grado de interferencia con radioenlaces vecinos
Altura de las antenas	Pérdidas de Propagación (dB)
Pérdidas en conectores, guías, etc (dB)	Disponibilidad anual estimada
Ganancia de antenas (dB)	Potencia Recibida (dBm)
Banda de frecuencia de funcionamiento	Margen de fading
Tipo y diámetro de las antenas	Polarización
Modulación nominal y de referencia	
Configuración 1+1/1+0	

**Tabla 8: Parámetros de diseño de un radioenlace**

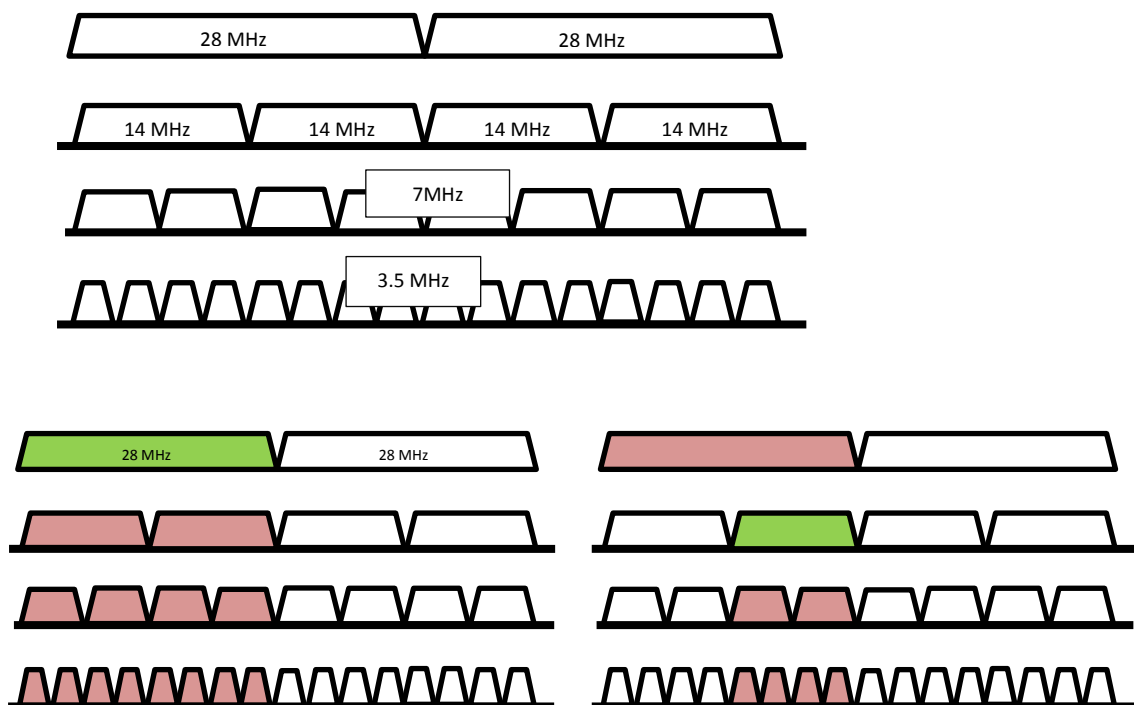
Los criterios de diseño más importantes son los siguientes:

- **Banda de frecuencias.** Existen determinadas bandas reservadas y destinadas a este uso que están comprendidas entre los 13GHz y los 38GHz. Puesto que la atenuación de una señal con la distancia es proporcional a la frecuencia de la misma, las bandas más bajas se emplean para los radioenlaces de mayor longitud y las más altas para los radioenlaces más cortos. Al elegir la banda tendremos en cuenta tanto la longitud del radioenlace como lo cargado que está el espectro en cada banda en la zona donde se va a instalar
- El **diámetro de las antenas** es directamente proporcional a la potencia recibida. Dentro de la misma banda de frecuencias, un diámetro de antena mayor garantiza mayor potencia recibida. Sin embargo, interesa instalar antenas pequeñas para no sobrecargar torres y mástiles. Los diámetros típicos son: 0.2m, 0.3m, 0.6m, 0.9m y 1.2m.
- La **señal recibida** en el extremo receptor debe estar comprendida entre -30 dBm y -45 dBm (aproximadamente) para asegurar la calidad e integridad de la misma.
- El **margen de fading** (diferencia entre la potencia recibida y el umbral en el que se corta la comunicación) debe ser superior a los 30 dB aprox.
- La **Disponibilidad** (tiempo que el radioenlace está activo y funcionando correctamente) debe ser superior al 99'99% anual. Este parámetro depende de factores ambientales/meteorológicos y se estima utilizando modelos de lluvia acordes con la región donde se quiere instalar el radioenlace. Por ejemplo, en la Comunidad Valenciana se debe utilizar un modelo bastante exigente debido a la gran cantidad de lluvias que se producen en algunas temporadas (gotas frías, fuertes tormentas, humedad relativa alta).
- **Elección del canal**<sup>15</sup>. El ancho de banda que disponen las operadoras en cada banda de frecuencias se subdivide en canales dúplex que son los que se asignan a los radioenlaces, existiendo la posibilidad de que esos canales tengan anchos

---

<sup>15</sup> Los canales son dúplex, por lo tanto la elección de uno supone la asignación de dos frecuencias portadoras separadas en frecuencia, la de frecuencia baja se le llama "Low" y a la alta "High", y pueden asignarse indistintamente a los dos sentidos de la transmisión.

diferentes según se requiera que la capacidad del radioenlace sea mayor o menor: se podría dividir el ancho de banda en canales de 4MHz, lo que daría un mayor número de canales disponibles (y de menor capacidad) que si ese mismo ancho de banda se dividiese en canales de 30MHz. En la práctica los canales están predefinidos dentro del operador, por lo que a la hora del diseño sólo hay que escoger uno para el radioenlace, en función de si queremos más o menos capacidad a través del mismo, y teniendo en cuenta que los canales más anchos saturan y limitan el uso del espectro en la zona. Imaginemos que el diseño es para un radioenlace última milla, entonces podríamos elegir un canal de 3.5, 7 o 14MHz que daría una capacidad de unos 20, 40 o 100Mbps, respectivamente. No tendría sentido elegir un canal de 28MHz, que ofrece una capacidad cercana a los 200Mbps, puesto que gran parte seguramente no se va a usar y además se estaría limitando el uso por parte de los radioenlaces cercanos, tanto de ese canal como de otros canales menores (ver Figura 72).



**Figura 72:** Ancho de banda dividido en canales de diferentes anchos. Los colores representan el canal elegido (verde) y los canales que consecuentemente resultarán interferentes (rojo) y previsiblemente no se podrán utilizar por otros radioenlaces del mismo emplazamiento o alrededores. Esta interferencia se elimina cambiando la polarización.

Viendo estos diagramas, si por ejemplo se escogiese un canal de 28MHz en una determinada banda, se limitará el uso en la zona de todos los canales de la banda

con los que se solapa, pues las interferencias producidas serían destructivas. De igual forma, si se eligiese un canal de 14MHz en la zona intermedia de la banda, no solo se inutilizan los canales menores con los que se solapa, sino que el canal de 28MHz solapado tampoco se podrá utilizar en la zona. Este es uno de los motivos por los que es fundamental elegir con cuidado los canales asignados a cada RE, así como apagar los radioenlaces en el momento en que dejan de usarse para llevar tráfico, liberando el espectro utilizado con el fin de no producir interferencias innecesarias a otros.

- Es fundamental realizar el **cálculo de interferencias** una vez se han definido los parámetros principales. Al diseñar un nuevo radioenlace casi con toda probabilidad se va a encontrar rodeado de muchos otros que ya están en funcionamiento y que son susceptibles de ser interferidos por éste (canales solapados en misma banda, modulaciones interferentes). El diseñador ha de asegurarse de que el nuevo radioenlace no vaya a interferir con ningún otro, al menos no de forma crítica (factor de degradación menor de 0.4dB).
- Una vez elegido el ancho de banda del canal, éste nos permite un rango de 5 modulaciones (ver Figura 72). Normalmente se elige como **modulación nominal** la más alta posible (256QAM). Para elegir la **modulación de referencia**, en caso de ser un radioenlace de nuevo despliegue se elegiría la más baja posible (QPSK), y en caso de ser sustituto de uno PDH tendríamos en cuenta lo explicado sobre la modulación adaptativa (Figura 70).
- La **polarización** será preferiblemente vertical salvo por interferencias con otros radioenlaces, pues la horizontal se ve más afectada por lluvias.

Para evitar y eliminar interferencias se siguen ciertas pautas:

- En el mismo emplazamiento todos los transmisores deben estar configurados de la misma forma: todos High o todos Low (es decir, todos transmitiendo en la banda alta del canal y recibiendo en la baja, o viceversa).

- Reutilizar canales al máximo pero evitando solapamientos entre radioenlaces próximos entre sí. Usar los canales de los extremos de la banda cuando sea posible
- Si al hacer los cálculos aparecen interferencias, tratamos de eliminarlas:
  - Cruzando polarizaciones.
  - Disminuir la potencia transmitida y usar antenas más directivas.
  - Elegir otro canal que no esté usado o esté menos saturado.
  - Si lo anterior no funciona, podemos plantearnos cambiar de banda de frecuencia.

#### **4.3.2.3. Radioenlaces Ethernet en el mercado**

##### **4.3.2.3.1. Radioenlace Híbrido Huawei (RTN)**

Huawei Technologies ofrece radioenlaces Ethernet híbridos, que por lo tanto, permiten el transporte tanto de tráfico TDM mediante E1s así como tráfico Ethernet, ambos de forma nativa.

La serie RTN de radio de microondas IP ofrece elementos inteligentes de red diseñados para gestionar, aprovisionar, hacer seguimiento y realizar diagnósticos en remoto. También permite soportar las futuras aplicaciones All-IP y puede proporcionar funciones de transmisión que incluyen alta modulación, modulación adaptativa, compresión de "cabeceras" de Ethernet para ayudar a las operadoras a reducir el coste por bit transmitido y el coste total de propiedad.

La serie RTN de Huawei se compone de los RTN 910, RTN 950 y RTN 980. El RTN 910 se utiliza principalmente para la capa de acceso, el RTN 950 permite instalar más direcciones de radiofrecuencia y se utiliza principalmente en la capa de convergencia. El RTN 980 es un sistema nodal que puede soportar hasta 13 direcciones de RF + 1 interfaz de inserción y extracción. Todas las series RTN de radios de microondas utilizan el mismo tipo de unidades de exteriores (ODU) y antenas.

Los radioenlaces de microondas de Huawei están orientados a IP y de banda ancha, con el fin de ayudar a la evolución de la red hacia la backhaul All-IP. La plataforma RTN 900 admite una evolución sin inconvenientes, permite a los operadores elegir la tecnología y la temporización óptimas de la red con Ethernet sincrónica e IEEE1588v2. Cumple con la sincronización de fases y frecuencias para redes GSM/UMTS/LTE.

La serie RTN 900 utiliza la modulación adaptativa (AM) para evitar pérdida de datos, ajustando el ancho de banda y mejorando así el uso del espectro. En comparación con el modo de modulación fija, la tecnología AM permite aumentar el ancho de banda de transmisión hasta 4 veces y reducir los gastos de espectro.

Gracias a las tecnologías de compresión de cabeceras y XPIC, la capacidad maximizada de un canal puede llegar a 2 Gbit/s, proporcionando gran ancho de banda para la backhaul móvil. Además, la radio soporta la agregación de enlaces (LAG) en configuración N+0 para maximizar la capacidad. La capacidad de Gbit/s se logra a través de radio de microondas en bandas de RF tradicionales, y cumple con el requisito de ancho de banda de LTE.

Con la plataforma integrada de procesamiento de Ethernet y con múltiples direcciones de RF, RTN 900 ayuda a reducir los gastos operativos y de capital (OPEX y CAPEX), y mejora la eficiencia operativa. La plataforma RTN 900 también cuenta con NMS<sup>16</sup> unificados para equipos de microondas y ópticos, que incluyen servicios de extremo a extremo. Los operadores pueden habilitar la gestión de servicios de extremo a extremo con un clic.

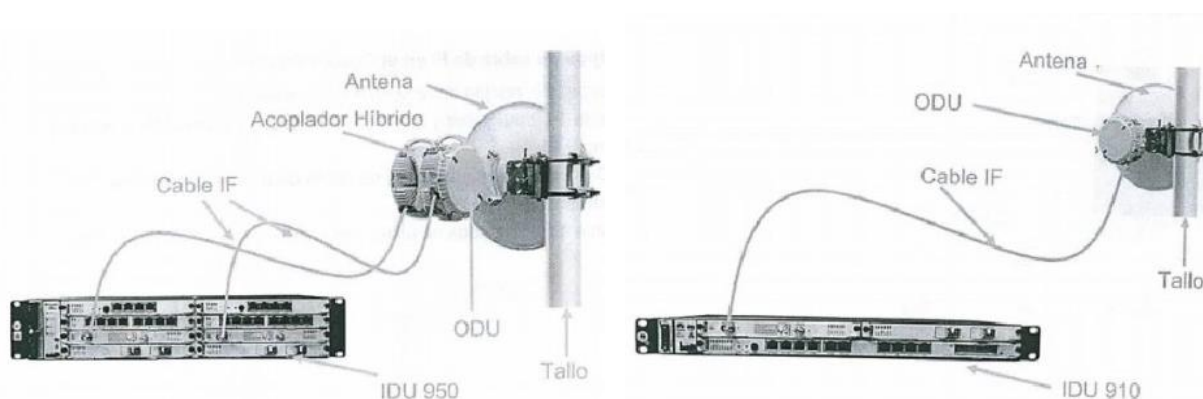


Figura 73: Vista frontal del RTN950 (izq.) y del RTN910 (drcha.), señalando sus partes principales

<sup>16</sup> Network Management System

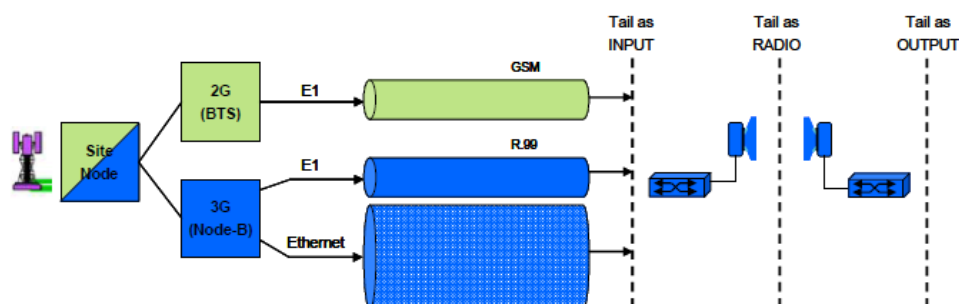


Figura 74: Funcionamiento Híbrido E1/paquetes en la serie RTN900

#### 4.3.2.3.2. Radioenlace Híbrido Ericsson (TN)

Mini – Link Traffic Node (TN) es un nodo de transmisión de microondas, que funciona como radioenlace y como hub, optimizado para la agregación de tráfico y ahorro de capacidad.

Este equipo se utiliza en diferentes escenarios:

- Despliegue de nuevas redes de transporte móviles, pues soporta la RAN all-IP que se busca en las nuevas redes móviles, ofreciendo la QoS Ethernet requerida.
- En la evolución de las redes de transporte móviles hacia all-IP, pues al ser un equipo híbrido soporta de manera simultánea tanto Ethernet nativo como TDM (PDH) nativo, o una mezcla de ambos. Esto permite a los operadores comenzar con tráfico TDM (todo E1s), ir añadiendo Ethernet conforme el tráfico de datos aumenta, y migrar a all-Ethernet cuando sea necesario. Además, proporciona redes Ethernet nativas y QoS carrier-class para Ethernet, IP y MPLS.
- Banda ancha sobre radioenlace. Este escenario integra soluciones tanto Carrier Ethernet como Ethernet best-effort, siendo una opción efectiva en costes para llegar al usuario final.

El Mini-Link TN proporciona hasta 1Gbps a través del aire, por lo que soporta las capacidades requeridas para LTE. Además, los equipos poseen una salida de

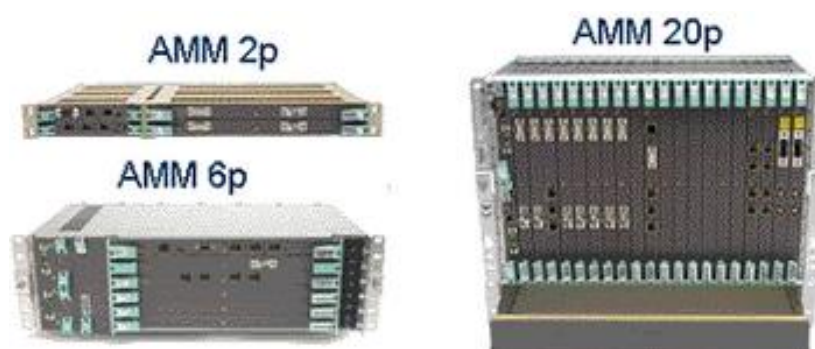
potencia de radio que permite tramos más largos con menores antenas. Proveen de sincronización de capa 1 para distribuir a la red de paquetes sin introducir retardo extra.

El enrutamiento de tráfico integrado permite la reconfiguración remota. Conforme la red crece y se necesita más capacidad, ésta es ampliada remotamente. Además, el uso de capacidad optimizado se consigue mediante la agregación de tráfico, la modulación adaptativa eficiente y la protección 2+0 y 1+1.

La conmutación Ethernet que realizan los TN cumple las normas del Metro Ethernet Forum (MEF) en cuanto a OAM, QoS, agregación de enlaces (LAG) y detección de errores (Link Loss Forwarding). La sincronización de red proporciona selección de la fuente de reloj, con salida de sincronismo vía tráfico TDM o puerto Sync de 2MHz.

Tal como se ha comentado, el radioenlace soporta tráfico TDM y Ethernet nativos. La capacidad máxima ofrecida a través del aire es 315Mbps por radio, aunque el interfaz de línea puede alcanzar 318-389Mbps dependiendo de la compresión y el tamaño de trama. Además, el uso de XPIC17 permite doblar la capacidad. Mediante la vinculación o agrupación de enlaces radio puede conseguirse una velocidad de línea de 1Gbps.

Existen varios tipos de equipos Mini – Link TN, de distintos tamaños (número de ranuras para tarjetas), para permitir una flexibilidad en función de las necesidades de hardware en cada emplazamiento (Figura 75). [17] [18]



**Figura 75: Aspecto de los distintos modelos de Mini - Link Traffic Node de Ericsson**

---

<sup>17</sup> Cross Polar Interference Cancellor: Mecanismo usado en radioenlaces para doblar la capacidad potencial del enlace de microondas mediante el uso simultáneo de ambas polarizaciones, pudiendo incluso utilizar la misma frecuencia.



Los equipos son modulares, por lo que pueden insertarse y extraerse tarjetas según se requiera, siguiendo, eso sí, las indicaciones de qué tarjetas pueden instalarse en qué ranuras. Existen tarjetas con diferentes tipos de puertos y funcionalidades:

- Tarjetas con puertos E1 PDH: NPU, LTU
- Tarjetas con puertos Ethernet: ETU2, NPU
- Tarjetas ADM SDH: LTU155

Y además poseen las MMU o Modem Units, que son el interfaz con las radios y por lo tanto existe una por extremo del radioenlace. Hay distintos tipos de MMU, unos permiten transmisión híbrida TDM y Ethernet nativos, y otras no. De las MMU parten los interfaces hacia las ODU y las antenas.

Los radioenlaces Traffic Node al principio se diseñaron para soportar tráfico TDM. Sin embargo, dada su modularidad, tienen la ventaja de que pueden actualizarse conforme evoluciona su diseño, así, sustituyendo MMUs antiguas por nuevas se consigue disponer de capacidad Ethernet además de TDM (lo que se llama “adecuación a Ethernet” del TN), de igual forma que las tarjetas NPU y ETU han ido mejorándose, bastando con sustituir las viejas por las nuevas para disponer de nuevos puertos y funcionalidades. Esto implica un ahorro para el operador, que no tiene que cambiar el equipo completo para actualizarlo.

#### ***4.3.2.3.2.1. Mapeo de Ethernet sobre PDH***

Como se ha comentado, los radioenlaces Mini – Link TN de Ericsson se diseñaron en un principio para ser TDM. Conforme se producía el aumento del tráfico de datos y por tanto se comenzó a introducir la tecnología Ethernet en la red de transmisión de acceso, Ericsson tuvo que buscar soluciones para adaptarse a este cambio. Pues bien, antes de la llegada de los radioenlaces híbridos capaces de transmitir TDM y Ethernet de forma nativa, se desarrolló una solución provisional para el transporte de tráfico Ethernet utilizando los flujos E1 de los mismos, que se denominó mapear Ethernet sobre PDH.

Para poder realizar este mapeo es imprescindible disponer tanto en el extremo origen como en el destino tarjetas ETU instaladas. Los puertos Ethernet que poseen estas tarjetas se interconectan normalmente con los puertos Ethernet de los equipos adyacentes (nodo B, radioenlace Huawei o NSN, equipo MPLS). Una vez configurado el TN para mapear Ethernet sobre NxE1s (flujos libres del radioenlace), las tramas Ethernet se encapsulan en los timeslots PDH en el extremo origen, se reparten entre los flujos E1 y una vez llegan al destino se reconvierten en el flujo Ethernet original. De esta forma se proporciona conectividad Ethernet a través de un radioenlace no-Ethernet.



**Figura 76: Esquema de Mini - Link TN Ericsson con mapeo de Ethernet sobre 16 flujos E1. La capacidad virtual es 32Mbps.**

La ventaja de esta solución es que permite a los operadores hacer mayor uso de sus extensas redes legacy, antes de migrar gradual y totalmente la red a All-IP. Sin embargo, tal como se ha mencionado, es un método provisional, pues las capacidades que ofrece son menores que en un interfaz Ethernet nativo, y su eficiencia también es menor.

#### **4.3.2.3.3. Radioenlace Ethernet Nativo Nokia Siemens (FP)**

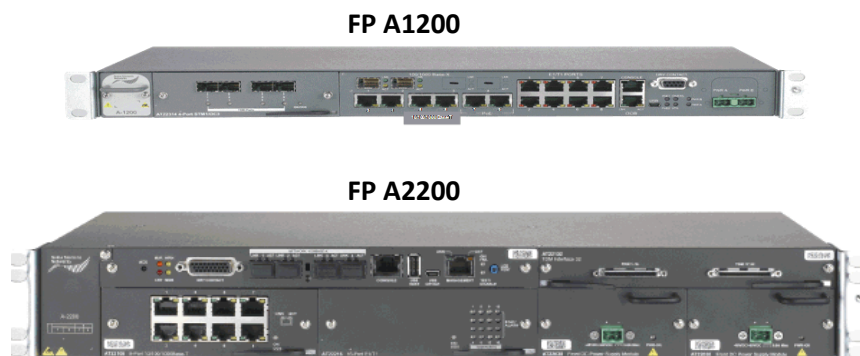
El radioenlace de microondas Flexi Packet es la solución desarrollada por Nokia Siemens Networks (NSN) para afrontar la construcción de una avanzada red de transmisión móvil y la transición a la red All-IP.

El Flexi Packet es un radioenlace configurable por software para funcionar en modo híbrido o “full-packet”. En el segundo caso, significa que todo su flujo en el interfaz aire es Ethernet. Por tanto, para transmitir tráfico TDM/ATM a través del mismo es necesario definir circuitos CES. Dadas estas posibilidades, el FP se muestra como solución adecuada para la transición desde las redes legacy hacia la red All-IP, permitiendo hasta 1Gbps por portadora a través de toda la red.

Este radioenlace también permite altos niveles de modulación (adaptativa) para ofrecer throughput capaz de soportar los requerimientos de capacidad de LTE y HSPA+. Su diseño es modular y compacto, lo que minimiza el espacio ocupado en el emplazamiento (“footprint”) y el tiempo de puesta en servicio, y flexibiliza su actualización, pagando solo los componentes que se requieren en cada punto específico.

Posee diseño de radio “fully outdoor” (exterior) con interfaz GE UNI estándar del Metro Ethernet Forum (MEF) y otras funciones para cumplir con las redes de transporte Carrier Ethernet: permite realizar monitorización del funcionamiento en remoto (OAM) y sincronización avanzada, realiza diferenciación de servicios y aplica QoS, con el fin de ofrecer la mejor experiencia de usuario. Además posee un avanzado Sistema de Gestión de Red para facilitar la provisión y gestión de las conexiones de paquetes. De acuerdo con los servicios definidos por el MEF, para cada nodo B que atraviesa un radioenlace FP o una cadena de FP se debe crear un servicio E-Line, que se diferenciará de los demás mediante la VLAN.

Existen diferentes modelos de Flexi Packet. Tres de ellos muy utilizados en la red de acceso son los FP1200, FP2200 y FP FTTN (Fiber To The Node). Los dos primeros están compuestos por el Flexi Packet Hub, que es el equipo interior que posee los puertos de transmisión y la capacidad de procesamiento, y los equipos radiantes. La característica diferencial del FP FTTN es que su función es proporcionar conexión a fibra óptica (en ambos extremos de la FO debe existir un FP FTTN). [19]



**Figura 77: Frontal de los equipos FP A1200 y A2200 de Nokia Siemens Networks**

Por otra parte, los interfaces de acceso que posee el FP Hub incluyen Fast y Gigabit Ethernet, E1 y STM-1.

### **4.3.3. Equipos MPLS**

Al haberse dedicado un capítulo completo (Capítulo 5 – Red Troncal de Acceso MPLS) a la descripción del sistema MPLS y la red troncal de acceso móvil, también se han descrito en el mismo las principales características que deben reunir los equipos MPLS.

## **4.4. Gestión de la Red**

Conforme una red crece, se hace más compleja y difícil de manejar. La interconexión de redes entre sí, la coexistencia de equipos de diferentes fabricantes, el empleo de distintos protocolos o tipos de tráfico, etc. nos lleva a una red sumamente extensa y compleja, en la que resulta una misión crítica la tarea de prevención, control y solución de problemas, de manera que la indisponibilidad de los servicios se minimice todo lo posible. Hay que tener en cuenta que un corte del servicio puede afectar, según la zona afectada, a un gran número de clientes, lo que supone un impacto negativo en su opinión acerca del servicio y se traduce en pérdidas económicas para el operador.

Para facilitar y simplificar las tareas de control, operación y mantenimiento de la red es necesario que existan mecanismos para ello. Además, si estas tareas pueden realizarse en su mayoría en remoto, esto se traduce en un ahorro considerable de recursos humanos y económicos, pues se evitan muchos desplazamientos de técnicos a las estaciones para realizar el mismo trabajo en local.

También permite a los ingenieros de transmisión hacer una monitorización y seguimiento de la red, detectando puntos críticos, alarmas, configuraciones erróneas, pudiendo realizar medidas correctoras antes de que se produzca un mayor empeoramiento del funcionamiento, evitando así fallos mayores. Además de vigilar y asegurar el correcto funcionamiento, las herramientas de gestión permiten obtener estadísticas que ayudan a los ingenieros a optimizar la red y el uso que se hace de los recursos.

Por lo tanto, para supervisar el grado de servicio y el comportamiento de una red, deben definirse aquellos parámetros que deseemos controlar y establecer una forma de recoger datos, procesarlos, presentarlos y analizarlos en un lugar central, es decir, en un centro de gestión de la red. Si la red abarca una región geográfica muy extensa, la tarea de controlar toda la red se vuelve demasiado compleja, siendo aconsejable dividir el área total en subregiones, de manera que exista un centro de control en cada una. Este centro de gestión también es llamado Centro de Operación y Mantenimiento.

Tener los equipos de red gestionados permite disponer de información detallada de cada elemento de la red en todo momento: estadísticas de uso, niveles de potencia recibida/transmitida, frecuencia, alarmas, etc. Para ello se dispone normalmente de gestores, que permiten obtener y presentar de forma gráfica todos los datos necesarios desde un terminal, comprobar su estado de operatividad, indicar mediante alarmas los fallos/anomalías presentes e incluso reconfigurar los elementos de la red remotamente. Por otra parte, es aconsejable proporcionar acceso a los gestores mediante contraseña y solamente a un grupo reducido de técnicos, distinguiendo entre acceso de lectura o escritura, con el fin de que sólo puedan realizar cambios aquellas personas con los conocimientos necesarios.

La recogida y transmisión de la información requiere la existencia de un protocolo de gestión de la red, que define cómo se interconectan y comunican los distintos equipos entre sí. De esta manera, en una misma red soporte, se genera un plano de gestión en paralelo al plano de tráfico, cuyas topologías no tienen por qué coincidir siempre. Los ingenieros de transmisión diseñan ambos planos conforme despliegan la red. Por ejemplo, cuando se va a instalar un nuevo radioenlace, se diseñan sus parámetros técnicos, se definen los enlaces lógicos o circuitos de tráfico a través del mismo, y además, se diseña la forma en la que el radioenlace va a “entrar en gestión” para poder controlarlo remotamente.

Lógicamente, la primera configuración debe realizarse en local cuando se instala el equipo. Si el diseño de gestión se ha realizado correctamente, el nuevo elemento será configurable y monitorizable desde los gestores en remoto.

El hecho de utilizar equipos basados en IP/Ethernet hace que esta tarea sea rápida y sencilla, pues a cada uno se le asigna una dirección IP unívoca, convirtiéndose la gestión en una tarea de direccionamiento de paquetes mediante algún protocolo tipo

RIP u OSPF. En el caso de radioenlaces Ericsson, si están gestionados basta con introducir la dirección IP de un equipo en la barra de direcciones de un PC de la intranet para acceder a él (con contraseña). En cambio, los radioenlaces de Huawei o NSN se controlan desde aplicaciones o gestores específicos, creados para tal uso, a los que se accede mediante usuario y contraseña. Además, cualquier equipo basado en IP que esté gestionado, responde a los comandos Ping y TraceRoute.

En general, el diseño de la gestión comienza por dividir el conjunto total de equipos en agrupaciones pequeñas, que sean más manejables. Las agrupaciones pueden hacerse por poblaciones, por ramas que salen de los equipos MPLS, por grupos de equipos del mismo fabricante, u otros criterios según convenga. Cada agrupación tendrá un elemento “cabecera”, a través del cual llega la gestión a todos los elementos de la misma. A cada elemento le corresponderá una dirección IP de gestión, y además habrá que especificar máscara de subred, IP Gateway, puertos en los mismos por donde circula la información de gestión (habitualmente disponen de puertos específicos para ello), entre otros parámetros necesarios para que los equipos se gestionen.

#### **4.5. Aspectos Económicos de la Migración de la Red**

A lo largo de los apartados anteriores se ha ido comentado que una de las razones por las que se eligen equipos y tecnologías basadas en IP y Ethernet es porque son más baratos o rentables que los anteriores equipos TDM o ATM. Para mostrar esto de forma un poco más ilustrativa, las siguientes tablas recogen los precios orientativos (pueden variar un poco pero permite hacernos una idea de los órdenes de magnitud) de diferentes tipos de equipos en función de la tecnología y capacidad que procesan. También se muestran en la tabla los tipos de interfaces que poseen.

Con estos datos se va a poder comprender mejor el volumen de inversión que supone el despliegue y migración de la red, y porqué normalmente se trata de un proceso gradual con el fin de repartir el gasto durante un determinado intervalo de tiempo para que sea más asequible.

**Tabla 9: Precios orientativos de equipos SDH y MPLS, en función de su capacidad e interfaces incluidos**

EQUIPO	BAJA CAPACIDAD	MEDIA CAPACIDAD	ALTA CAPACIDAD	CAPACIDAD MUY ALTA
<b>SMX (SDH)</b>	6000-25000€	25000-45000€	32000-72000€	N/A
<b>INTERFACES</b>	E1, STM-1, STM-4, FE	E1, STM-1, STM-4, STM-16,FE	E1, STM-1, STM-4, STM-16,FE	N/A
<b>MPLS</b>	5500-9500€	13500-30000€	25000-65000€	60000-95000€
<b>INTERFACES</b>	E1, STM-1, FE, GE	E1, STM-1, FE, 10GE	E1, STM-1, FE, 10GE	GE, 10GE

**Tabla 10: Precios orientativos de equipos tipo radioenlace PDH, Ethernet y adaptación de PDH a Ethernet, en función de su capacidad y tipos de interfaces que incluyen**

EQUIPO	BAJA CAPACIDAD	MEDIA CAPACIDAD	ALTA CAPACIDAD
<b>PDH</b>	4000-9000€	8000-12000€	12000-15000€
<b>INTERFACES</b>	E1	E1, FE	E1, STM-1, FE
<b>ETHERNET</b>	6000-7000€	7000-8000€	8000-11000€
<b>INTERFACES</b>	E1, FE, GE	E1, STM-1, FE, GE	E1, STM-1, FE, GE
<b>ADAPTACIÓN PDH --&gt; ETH</b>	2000-3000€	2500-4500€	4000-5500€
<b>INTERFACES</b>	E1, FE, GE	E1, STM-1, FE, GE	E1, STM-1, FE, GE

Los rangos significan que los precios pueden variar: según fabricante, momento de hacer el pedido, elementos individuales según diseño particular del equipo o elementos adicionales tipo tarjetas de puertos, etc.

A simple vista ya se observa que los precios son generalmente más bajos en equipos Ethernet y MPLS que en sus equivalentes de tecnologías TDM, por lo que en este sentido ya convendría hacer uso de los primeros. Además, si se observan los tipos de interfaces que soportan también resultan mucho más interesantes los equipos basados en IP, pues todos cuentan con puertos FE y GE (incluso 10GE en caso de los equipos agregadores), donde sus equivalentes (más caros) tienen como máximo puertos FE y STM-1. Esto también significa que la capacidad de procesamiento y cross-conexión es mucho mayor en equipos Ethernet y MPLS, por lo que definitivamente estos equipos son mejores en relación prestaciones-precio que los equipos TDM.

Otra opción interesante cuando está disponible, como es el caso de los radioenlaces PDH Traffic Node de Ericsson, es adaptarlos a Ethernet. Esta adaptación supone cambios en tarjetas del equipo, que se sustituyen por otras capaces de procesar Ethernet de forma nativa, ahorrándonos parte del equipamiento necesario (bastidor,

antenas, alimentación, etc.) en la mayoría de los casos, lo que se puede apreciar en los precios de la Tabla 10, en la línea “Adaptación PDH → Eth”.

Si además se tiene en cuenta los volúmenes de equipos con los que se trabaja en una operadora a nivel nacional, sobre todo en cuanto a radioenlaces y en menor medida en equipos agregadores, el ahorro por parte de ésta sería muy importante. Por poner un ejemplo, imaginemos que son necesarios aproximadamente 1000 radioenlaces en la red de acceso que cubre la Comunidad Valenciana, y supongamos que de esos 1000 un 20% son de alta capacidad, un 30% de capacidad media y el otro 50% son de baja capacidad (últimas millas y cercanos). Teniendo en cuenta la media en los rangos de precios mostrados en la Tabla 10, el despliegue de esta planta de radioenlaces costaría a la operadora una inversión de casi 9 millones de euros en el caso de usar PDH, mientras que utilizando radioenlaces Ethernet la inversión necesaria sería de algo más de 6.5 millones de euros. La diferencia entre ambas opciones es, por tanto, muy elevada (casi 2.5 millones), sin contar con que se dispondría de interfaces de mayor capacidad para absorber el previsible crecimiento de tráfico futuro sin necesidad de actuaciones hardware importantes.

#### **4.6. Perspectiva Futura: Evolución a LTE y Redes de Próxima Generación (NGN)**

El siguiente paso en el camino evolutivo del sector de las comunicaciones móviles es la Cuarta Generación Móvil, o 4G. Los sistemas 4G estarán basados totalmente en IP, proporcionando varios tipos de acceso móvil de banda ancha a toda clase de terminales móviles, es decir, tanto acceso a redes fijas (fibra óptica, DSL, cable) como a redes móviles (3GPP, 3GPP2 e IEEE) a través de módems USB inalámbricos para PCs, tabletas y smartphones, tanto en entornos outdoor como indoor, con una alta calidad de servicio (QoS) y seguridad, permitiendo la oferta de servicios de cualquier clase, en cualquier momento y en cualquier lugar, con el mínimo costo posible. Las aplicaciones accedidas en movilidad incluirán, entre otras, acceso a la web, voz sobre IP, TV móvil de alta definición, video conferencia, televisión 3D y computación en la nube (“Cloud Computing”).



En la actualidad existen dos sistemas que cumplen con los requisitos de 4G: el estándar WiMAX y el LTE (Long Term Evolution), siendo este último el sistema desplegado en redes de telefonía móvil, incluyéndose a las tecnologías 2G y 3G ya existentes. Mientras que 150 operadores en más de 60 países ya han lanzado los primeros servicios 4G, en España la entrada de esta tecnología se está retrasando y se espera que llegue durante el año 2014.

El 4G y en general las redes totalmente basadas en el protocolo IP están relacionados con el concepto de Red de Próxima Generación, cuyo significado según la ITU-T (Recomendación Y.2001) es el siguiente:

*“Una Red de Próxima Generación (NGN) es una red basada en paquetes capaz de proporcionar Servicios de Telecomunicaciones a los usuarios y capaz de hacer uso de múltiples tecnologías de transporte de banda ancha y ofreciendo QoS, en las que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías de transporte subyacentes. Permiten a los usuarios acceso sin restricciones a las redes de diferentes proveedores y a los servicios según su elección. Soportan movilidad generalizada que permitirá la provisión consistente y ubicua de servicios a los usuarios.” [10]*

Para que las redes 4G o LTE cumplan los requerimientos para ser NGN, se especifican una serie de requerimientos de diseño para la red de transmisión de acceso y backhaul:

- Acceso a banda ancha móvil y eficiencia en el uso de ancho de banda (interfaz radio OFDM en DL y FDMA en UL), con baja latencia
- Alta capacidad en la red que soporta LTE
- Conectividad y roaming a través de redes heterogéneas (movilidad generalizada y convergencia red fija-red móvil)

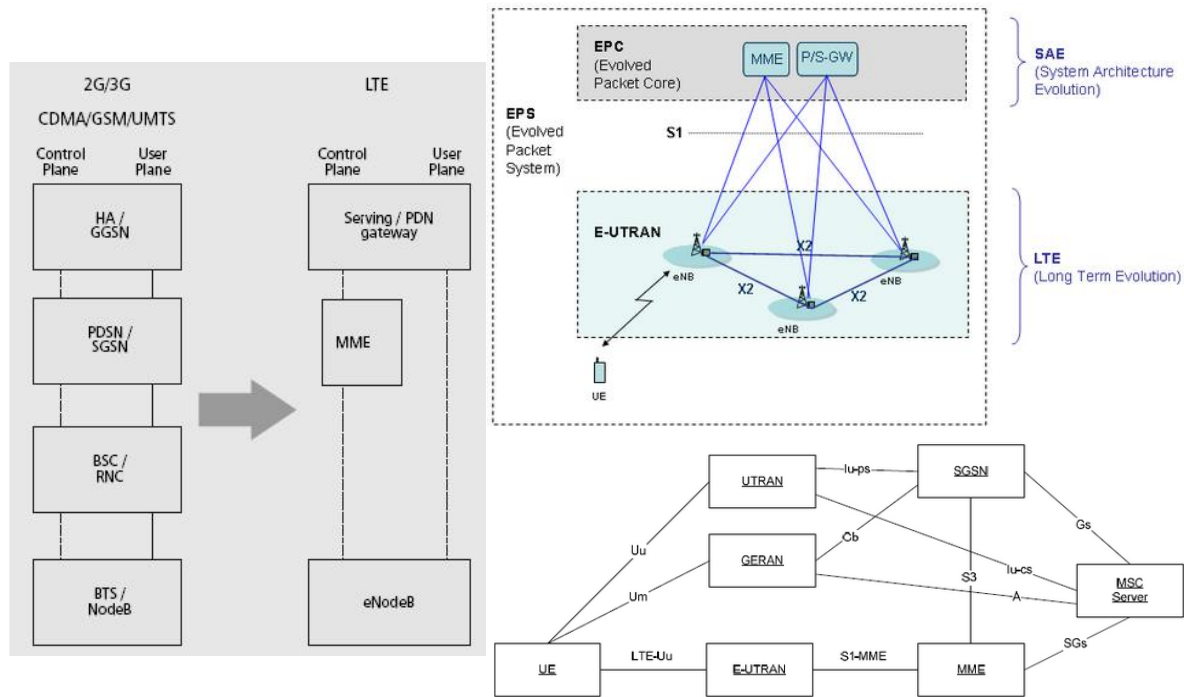


Figura 78: Arquitectura de LTE y su relación con las de 2G y 3G [27]

- Alta calidad de servicio (QoS)
- Interfuncionamiento con redes y servicios legacy
- Red all-IP basada totalmente en conmutación de paquetes (PS)
- Servicios y aplicaciones independientes de la tecnología de transporte subyacente

La evolución hacia LTE puede hacerse desde HSPA, o vía HSPA+. El sistema de LTE se llama Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS) y se compone de dos tipos de nodos: los eNodos B y las Gateways (System Architecture Evolution o SAE GW). La red de acceso LTE, llamada E-UTRAN, se simplifica y se compone únicamente de las estaciones llamadas eNodos B, que incorporan su propia funcionalidad de control radio (antes función de la RNC), gestión de recursos radio, compresión de cabeceras, cifrado, admisión y entrega fiable de paquetes, en lo que se denomina arquitectura *flat-IP*. Otra novedad que incluye LTE es un interfaz, denominado X2, que conecta los eNodos B a otros eNodos B de grupos lógicos específicos (de entre 4 y 16 estaciones). Normalmente, el interfaz X2 se implementa en conexiones multipunto entre un subconjunto de estaciones base vecinas, normalmente en la misma subred IP, para intercambio de información de señalización entre ellos (interferencias, handovers). El

interfaz tradicional entre los eNodos B y el EPC (Evolved Packet Core) se llama S1. (Figura 78)

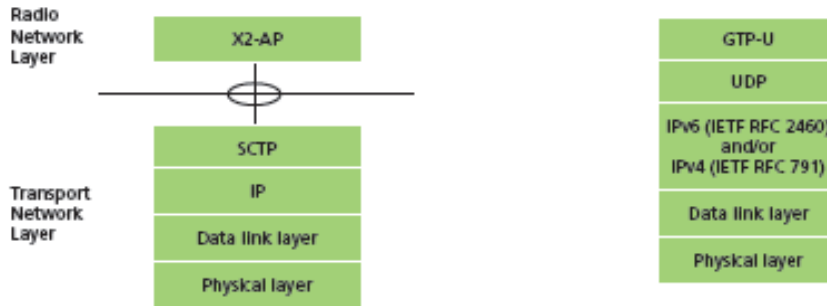


Figura 79 - Pilas de Protocolos de los Planos de Control (Izq.) y de Usuario (Dcha.) de los interfaces X2. Las pilas del interfaz S1 son iguales, cambiando el X2-AP por el S1-AP

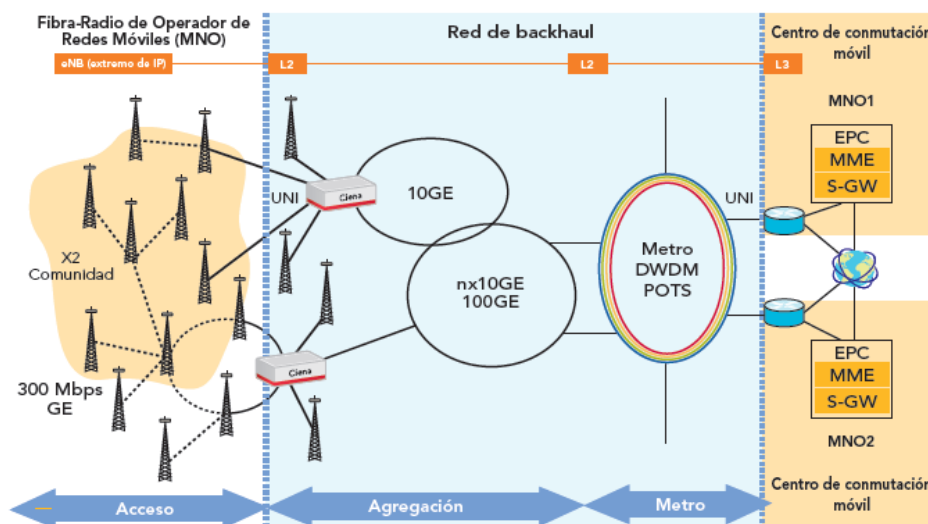


Figura 80 - Topología de una red de transmisión de paquetes LTE típica [28]

En cuanto a la red de transmisión de acceso que formaría parte de la E-UTRAN hay que tener en cuenta que se va a integrar en las redes GSM y UMTS existentes, por lo que dicha red tendrá que permitir la coexistencia de todos los servicios, tanto los nuevos como los legacy, sobre una única infraestructura capaz de dar soporte a las capacidades y características de todos ellos. Para empezar, la red de transporte deberá dimensionarse para soportar las velocidades pico que ofrece la tecnología radio de LTE, a saber, 60-120Mbps en Downlink y 30-40Mbps en uplink (las tasas medias están entre 15-30Mbps en DL y 8-16Mbps UL), además, la red troncal de acceso deberá estar

basada en multiplexación estadística. Para ello lo ideal es acercar dicha red troncal de acceso a los emplazamientos finales, lo que idealmente se hará usando una combinación de radioenlaces de microondas Ethernet (MW), fibra óptica (FTTx) y una capa agregadora IP/MPLS. Se utilizarán topologías como anillo, cadena, árbol y malla (para el interfaz X2).

Por tanto, la red de transporte que de soporte a 4G (y a 3G y 2G) estará compuesta básicamente por elementos MW Ethernet y MPLS, y los medios físicos para interconectarlos. La parte MPLS deberá soportar la creación de PWE3 multisegmento Ethernet diferenciados por VLAN, la definición de Redes Privadas Virtuales de Nivel 3 (L3VPN MPLS), incorporar mecanismos para permitir el acceso a la red a eNodos B conectados directamente, distribuir y crear rutas estáticas IP así como LSPs MPLS mediante el protocolo RSVP, balancear la carga entre rutas alternativas, permitir el modelado y la supervisión del tráfico y mantener los elementos sincronizados mediante Ethernet síncrono (SynchE) o Precision Time Protocol (PTP, IEEE 1588). En cuanto a la red de radioenlaces Ethernet, deberá proporcionar transporte punto a punto Ethernet desde los eNodos B hasta los equipos MPLS más cercanos, limitándose a realizar las funciones de capa 2 (conmutación y planificación de QoS L2 y colas para diferentes servicios), así como proporcionar radioenlaces de alta capacidad (180 – 360 Mbps) mediante el uso eficiente de los recursos espectrales, el reúso de frecuencias y antenas, y la modulación adaptativa.

La red backhaul móvil debe además ser compatible con los servicios estándar de Carrier Ethernet: E-Line, E-LAN y E-Tree. Los servicios basados en circuitos virtuales Ethernet de MEF permiten a los recursos de banda ancha virtualizados admitir conectividades de punto a punto (como en el interfaz S1), multipunto (como en X2) y de punto a multipunto con funciones de ingeniería de tráfico, para la asignación garantizada de recursos de red que mejoren el rendimiento.

Como se ha visto a lo largo de este Proyecto, la migración que se está realizando de la red TDM hacia IP va orientada a conseguir todo lo expuesto anteriormente. Por ello puede decirse que la red all-IP objetivo de la evolución actual estará preparada para la llegada futura de LTE.

## **CAPÍTULO 5**

### **RED TRONCAL DE ACCESO MPLS**

---

*El protocolo MPLS o Multiprotocolo por Conmutación de Etiquetas, se encuentra implantado en múltiples redes de transmisión de acceso desde que se comenzó la migración a IP hace algunos años, y se sigue desplegando conforme la red crece para extender y aprovechar sus interesantes propiedades, que no son pocas.*

*Dada la trascendencia de MPLS en una parte de la red de comunicaciones móviles bajo estudio, véase la red de transmisión de acceso, se ha considerado interesante dedicar un capítulo a analizar sus orígenes, los motivos de su elección frente a otras tecnologías, su despliegue y desarrollo en las redes, sus características y su funcionamiento.*

## **5.1. Orígenes de MPLS**

Con la proliferación del protocolo IP (nivel de red OSI) a escala global, desde Internet hasta enlaces e Intranets privadas VPN, surgió la cuestión de qué tecnología o protocolo sería óptima/o para transportar los paquetes generados por la capa IP, teniendo en cuenta que éstos deben poder contener múltiples tipos de tráfico (voz, video, datos, etc.). Como sabemos, IP está diseñado para trabajar sobre un conjunto diverso de protocolos de enlace de datos (capa inmediatamente inferior en la pila OSI) entre los que cabe destacar la familia de protocolos Ethernet, Token Ring, HDLC ("High Level Data Link Control") o ATM.

Durante los últimos años se han probado múltiples alternativas para realizar el transporte de los paquetes:

- IP sobre SDH (IP/SDH o "POS")
- IP sobre ATM (IP/ATM)
- IP sobre TDM (IP/TDM)
- IP sobre Ethernet (IP/Ethernet)

Cada una de las alternativas anteriores presenta unas ventajas y unos inconvenientes. Principalmente entre los casos de redes ATM e IP puras encontramos propiedades complementarias: una es orientado a conexión y la otra no, una ofrece QoS y la otra es best-effort, una es altamente flexible, escalable y eficiente mientras que la

otra no lo es tanto, etc. por lo tanto, ¿no sería posible conseguir las ventajas de unas y otras alternativas?

Con este dilema en mente nació a mediados de los años 90 la idea de MPLS, cuya misión era unificar en un único protocolo las ventajas de la conmutación de paquetes y la de circuitos, es decir, poder crear circuitos virtuales como en ATM utilizando etiquetas añadidas a los paquetes IP. Estas etiquetas son las que definirían el circuito virtual por toda la red y permitirían una diferenciación de servicios según QoS.

En cuanto a la posición que ocuparía en la pila de protocolos OSI, inicialmente se plantearon dos métodos diferentes de etiquetamiento, en capa 3 o en capa 2. La opción de capa 2 era más interesante porque es independiente de la capa de red (capa 3) y además permite una conmutación más rápida, dado que la cabecera de capa 2 está antes que la de capa de red. Finalmente se optó por situar MPLS en una capa intermedia entre ambas:

Capa de Aplicación	
Capa de Transporte	Servicios Integrados / RSVP, Servicios Diferenciados
Capa de Red	Encaminamiento basado en restricciones
Capa de Enlace de Datos	MPLS

**Figura 81: Posición del protocolo MPLS según el Modelo de Capas OSI. MPLS se encuentra en una capa intermedia entre la Capa de Red (L3) y la de Enlace de Datos (L2)**

MPLS tiene sus raíces en las propuestas IP Switching (de Ipsilon), Tag Switching (de Cisco), ARIS (de IBM) y en algunas otras tecnologías ideadas con el propósito de llevar el tipo de ingeniería de tráfico característico de las redes orientadas a conexión, como ATM y Frame Relay, a las redes IP, no orientadas a conexión.

Finalmente, MPLS fue definido formalmente por el IETF<sup>18</sup> en el RFC 3031 en Enero de 2001.

<sup>18</sup> Internet Engineering Task Force

## 5.2. Definición y Propiedades

### ¿Qué es MPLS?

MPLS (Multiprotocol Label Switching o Protocolo de conmutación por etiquetas) es una tecnología desarrollada para el transporte de datos estándar en forma de paquetes, estandarizado por la IETF y definido en el RFC 3031. Este mecanismo opera en una capa intermedia entre el nivel de red (IP) y el nivel de enlace de datos de la arquitectura OSI.

MPLS se trata de una técnica de encaminamiento de tráfico IP, no de un servicio. Por tanto, puede ser utilizado para entregar a los usuarios desde redes privadas virtuales IP (VPN IP) hasta Metro Ethernet, e incluso servicios ópticos.

Este mecanismo fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos (como ATM) y las basadas en paquetes (IP/Ethernet), y puede ser utilizado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y paquetes IP. Las diferentes tecnologías existentes (ATM, PDH, SDH, Frame Relay, xDSL) se mapean sobre paquetes MPLS, realizando además la priorización de tráfico según niveles de Calidad de Servicio (QoS).

En este protocolo se establecen caminos virtuales llamados LSPs (Label Switched Paths) basados en la conmutación de etiquetas (labels), entre los elementos centrales de la red MPLS que se denominan LSR (Label Switched Router). Los LSR son una especie de routers que incorporan la funcionalidad de conmutar en función del valor de la etiqueta que acompaña a los datos.

Podría decirse que MPLS es un protocolo orientado a conexión (mediante LSPs) pero sin sus inconvenientes asociados tradicionalmente. De hecho, como se ha comentado, lo que se pretendió conseguir con MPLS fue reunir las ventajas del resto de tecnologías preexistentes, como la flexibilidad y escalabilidad de IP o la fiabilidad de ATM, en un único protocolo.

MPLS se trata, pues, de una tecnología de red efectiva en costes, rápida y altamente escalable. Por estos motivos y las interesantes propiedades que veremos a



continuación, IP sobre MPLS se presenta como la solución óptima para el conjunto de arquitectura de servicios IP, desbancando a las anteriores opciones de "IP sobre ATM" o "IP sobre Ethernet", al dar solución a la mayoría de sus problemas asociados.

En la práctica encontramos MPLS implementado en los interfaces de la red de acceso que más flujo de tráfico transportan y que constituyen la parte troncal de la misma, pues proporciona los niveles de seguridad y velocidad de transmisión y conmutación, que se requieren en estos interfaces críticos.

## **Propiedades de MPLS**

Las propiedades a las que debe MPLS su éxito frente a IP/Ethernet, POS y ATM son las siguientes:

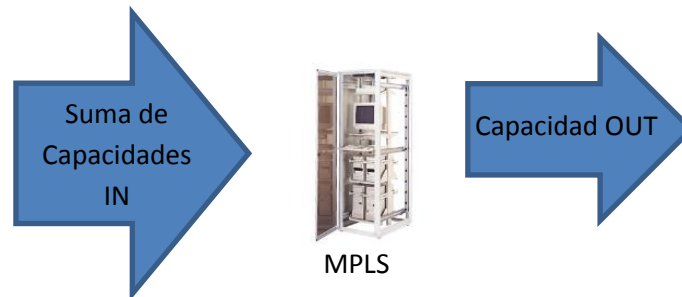
- ✓ Proporciona Calidad de Servicio (QoS) según criterios de SLA

Permite proporcionar ciertas garantías de QoS para tráfico seleccionado, pues introduce el concepto de camino o "path" en redes IP, permitiendo reservar ancho de banda para dicho tráfico en los enlaces que componen esos caminos o LSPs durante el proceso de establecimiento de estos. Esto significa que ofrece la capacidad para integrar voz, vídeo y datos en una plataforma común con garantías de calidad, independientemente de la red sobre la que se implemente. Por otra parte, la capacidad de priorización del tráfico mediante QoS se realiza en tiempo real, prestación clave cuando se quiere introducir voz y vídeo en las redes de datos.

- ✓ Permite llevar a cabo Ingeniería de Tráfico (TE) y agregación

Se conoce como Ingeniería de tráfico a la gestión de tráfico y capacidad, el modelado y medida del tráfico y de la red, así como a la realización de análisis de funcionamiento. Gracias a esto, se pueden planificar rutas en la red extremo a extremo, de forma manual, en base a previsiones y estimaciones a largo plazo con el fin de optimizar los recursos y reducir congestión. Por otra parte, dicha ingeniería de tráfico, la precisión e inteligencia del encaminamiento basado en MPLS, así como la

multiplexación estadística<sup>19</sup>, permiten empaquetar más datos en el ancho de banda disponible y reducir los requerimientos de procesamiento a nivel de router. Por este motivo diremos que los equipos MPLS son *agregadores de tráfico*, ya que el caudal a su salida es menor que el caudal total a su entrada.



**Figura 82:** El tráfico agregado a la salida de un equipo MPLS es inferior al tráfico entrante al mismo.

La TE adapta el flujo de tráfico a los recursos disponibles en la red con el fin de que no existan puntos actuando como cuellos de botella mientras otros puntos estén infrutilizados. Para ello, el tráfico sigue el camino más corto calculado mediante algún tipo de protocolo IGP (Interior Gateway Protocol), pero si se produce congestión, entonces la ingeniería de tráfico desvía algunos flujos a otros enlaces menos cargados, aunque supongan una ruta más larga hasta llegar al destino. De esta forma se garantiza el cumplimiento de algunos parámetros críticos (KPIs) para ciertas aplicaciones como pueden ser el ancho de banda, la latencia, o la disponibilidad de la red. La siguiente figura presenta un esquema que puede servir como ejemplo de lo anteriormente expuesto:

---

<sup>19</sup> Para fuentes de datos que transmiten de forma discontinua (ráfagas), la *multiplexación estática* que realiza TDM es ineficiente: en periodos de inactividad de los canales de entrada al multiplexor se desperdicia la capacidad reservada para ellos en el enlace de salida. La *multiplexación estadística*, sin embargo, se basa en que si alguna fuente no genera tráfico de forma continuada, se permite a otra fuente que sí esté activa aprovechar los periodos de inactividad para transmitir datos. De esta forma, los slots disponibles en el canal de salida se asignan dinámicamente a los canales de entrada en función de la demanda, lo que permite disminuir el régimen binario a la salida del multiplexor, que resulta menor que la suma de las capacidades máximas de los canales de entrada. Esta diferencia entre el régimen binario obtenido con multiplexación estadística y el necesario con TDM se denomina ganancia por multiplexación estadística. Si todas las fuentes transmitieran a su tasa máxima no habría capacidad suficiente en la trama de salida, por lo que algunos datos tendrían que esperar en buffers o memorias su turno de salida. La ventaja de esta técnica es la ganancia obtenida; las desventajas son los retardos variables en la transmisión, pues dependen del estado de la red en cada momento así como del estado de los buffers, o incluso la pérdida de datos por desbordamiento de los buffers.

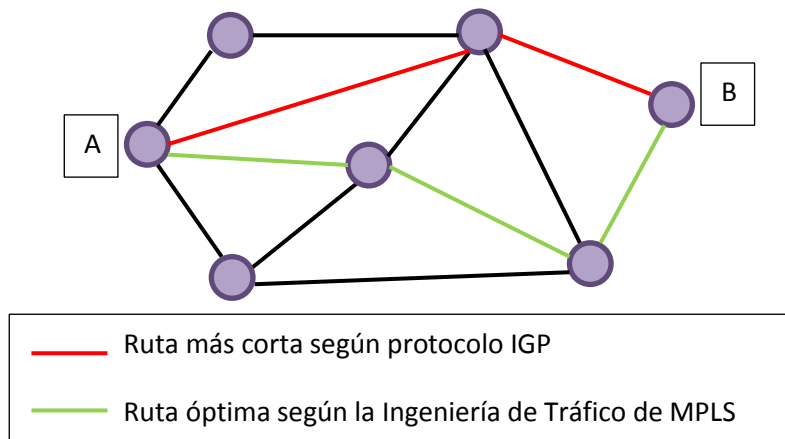


Figura 83: El LSP puede seguir la ruta indicada por el protocolo SPF (Shortest Path First), o bien la ruta resultante de aplicar Ingeniería de Tráfico.

✓ Ofrece conmutación (switching) de alta velocidad

Esto es así gracias a las etiquetas, pues durante el transporte de los paquetes por la red MPLS sólo se presta atención a las etiquetas de los mismos para poder enviarlos a través de los LSRs (Label Switched Routers) que forman los LSPs, obviando la identidad del paquete original IP. De esta manera, al tomar los routers MPLS las decisiones de encaminamiento en base a la LIB (Label Information Base) en lugar de las tablas de encaminamiento a nivel de red (capa 3) que son más grandes, el proceso se hace más eficiente. La LIB es más pequeña que la tabla de encaminamiento IP ya que las etiquetas MPLS tienen sólo significado local (en un LSR), y no global (en toda la red) como las direcciones IP, lo que agiliza la conmutación.

✓ Robustez y recuperación ante desastres

Se consigue mediante la definición de túneles LSP de reserva o back-up (1+1) para reencaminar por ellos el tráfico del LSP principal en caso de fallo de éste. Su topología de "muchos-a-muchos" ofrece a los administradores la flexibilidad para desviar tráfico sobre la marcha en caso de fallo de enlaces y congestión de red.

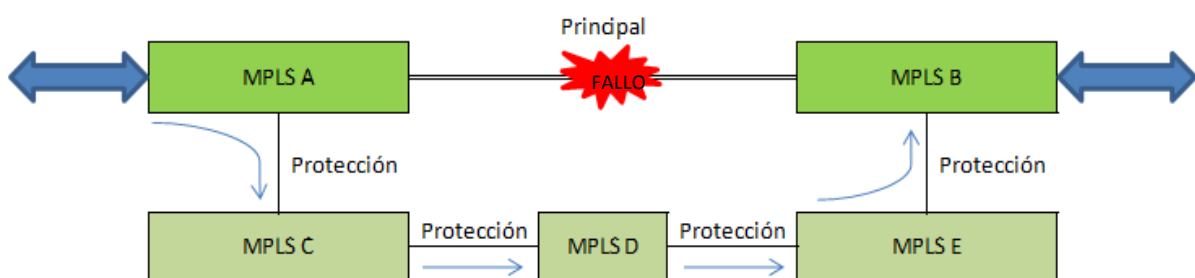
Los servicios basados en MPLS permiten conectar los centros de datos y otros emplazamientos clave mediante múltiples conexiones redundantes a la nube MPLS y, a

través de ella, a otros sitios de la red. Además, los lugares remotos pueden ser reconectados fácil y rápidamente a las localizaciones de back-up en caso de necesidad; a diferencia de lo que ocurre con las redes ATM y Frame Relay, en las cuales se requieren circuitos virtuales de back-up permanentes o conmutados. Esta flexibilidad para la recuperación del servicio es precisamente una de las principales razones por la que muchas empresas se han decantado por implantar esta tecnología en la red de acceso.

Si se piensa en las consecuencias de la caída de algún enlace crítico y por tanto de todo el tráfico de usuarios que lo atraviesa, el resultado es la pérdida económica que supone no poder cursar los servicios demandados por cientos o miles de clientes (dependiendo del área afectada) así como el impacto negativo en los mismos cuanto más tiempo dura el problema. En estos casos es crítico recuperar el funcionamiento normal de la red lo antes posible y MPLS es una buena alternativa para conseguirlo.

Además, dado que los equipos MPLS suelen permitir obtener estadísticas de ocupación de los LSPs, podemos realizar acciones preventivas como detectar cuellos de botella o enlaces muy cargados y desviar tráfico por otros caminos.

En la práctica y por razones de costes, cada equipo MPLS de nuestra red de acceso dispondrá de hasta un máximo de dos salidas posibles, una para el camino principal y otra para el de protección.



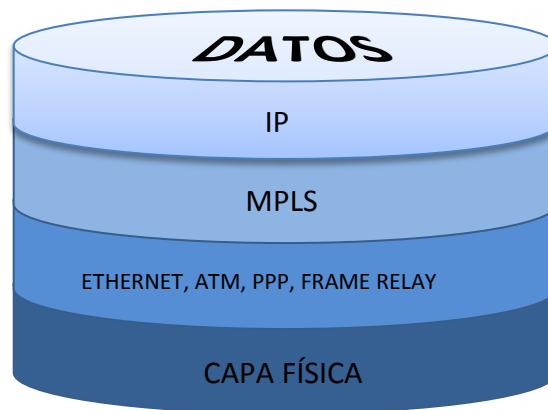
**Figura 84: Conmutación a ruta de protección tras fallo en algún punto de la ruta principal. Los esquemas de protección pueden ser 1+1, 1:1, Fast Reroute (FRR), Protección por agregación de enlaces (LAG), ML-PPP, IMA**

- ✓ Mejora del rendimiento y de los tiempos de respuesta de las aplicaciones

Al operar entre las capas 2 y 3, MPLS permite una mejor integración entre ambas, utilizando las funciones de control de enrutado/encaminamiento inteligente de la capa 3 y beneficiándose de la rápida conmutación de nivel 2. Por estos motivos MPLS ofrece propiedades interesantes para la gestión de redes troncales (backbones), como la red troncal de acceso, y es otra de las razones por las que en la práctica muchas de estas redes se están migrando a MPLS.

- ✓ Accesibilidad: MPLS permite transportar todo tipo de servicios

Y además funciona sobre todo tipo de tecnologías de transporte o de nivel de enlace: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, Ethernet, etc. (igual que lo hace IP).



**Figura 85: Pila de protocolos habituales utilizando MPLS en una red de transmisión**

MPLS realiza convergencia multiprotocolo, pues gracias a la madurez en los estándares para simular conexiones (pseudowires y LSPs en MPLS), una red de acceso basada en esta tecnología puede transportar tráfico IP/Ethernet junto a virtualmente casi cualquier tipo de tráfico proveniente del usuario u otras redes de acceso (i.e. agregación ATM para UMTS o CES TDM para GSM), mientras que esta tarea sería más complicada en un escenario puramente Ethernet.

- ✓ Es compatible con procedimientos de las redes IP en cuanto a operación, mantenimiento y gestión

Entre otros aspectos de OAM, los equipos MPLS responden a los comandos Ping y TraceRoute, proporcionan los mecanismos OAM de Ethernet tipo “Ethernet continuity check”, “Ethernet loopback” y “Ethernet Link Trace”, y los interfaces realizan descubrimiento de enlaces, monitorización del estado del enlace e indicación de fallos en remoto.

✓ Podría emplearse para soportar múltiples redes privadas virtuales (VPN)

Cada VPN estaría soportada por un LSP diferente, dentro de los túneles creados, reservando si es necesario cierto ancho de banda en los mismos para ellas. Para las VPNs sólo de voz, cuyos circuitos lógicos siguen siendo TDM, se deberán crear CES a través de los LSPs MPLS para emular un circuito físico dedicado con las prestaciones adecuadas a ese tipo de tráfico.

MPLS ofrece múltiples ventajas para VPNs IP, como son permitir aprovechar la ingeniería de tráfico para garantizar parámetros críticos y la respuesta global de la red (ancho de banda, latencia), la provisión de LSPs es menos compleja que los túneles IP o los PVCs ATM, tiene mayores opciones de crecimiento modular y permite mantener garantías de QoS extremo a extremo.

✓ Escalabilidad

Las etiquetas pueden anidarse, formando una pila con funcionamiento LIFO (Last In, First Out). Esto permite ir agregando (o segregando) flujos, creando distintos niveles de túneles, es decir, cada nivel de la pila de etiquetas define un nivel de túneles LSP MPLS. De esta manera dentro de una red MPLS se establece una jerarquía de LSPs.

✓ MPLS prepara la red para las tecnologías del futuro (4G)

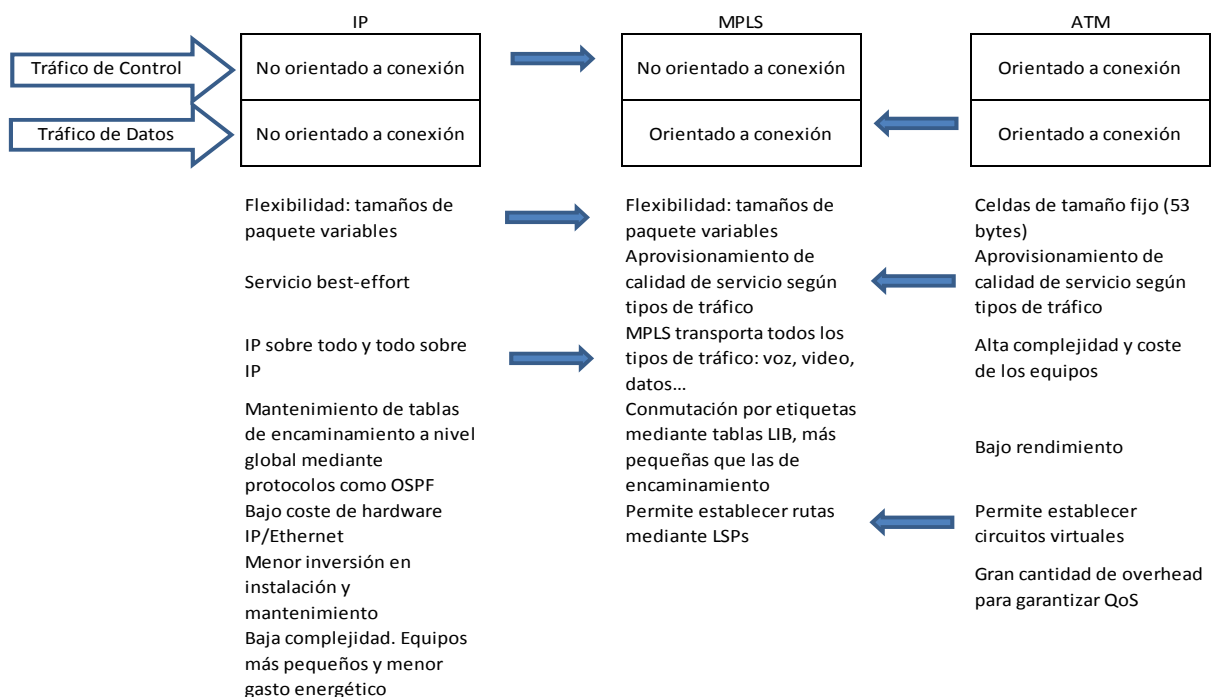
Anteriormente las empresas debían mantener distintos y costosos servicios para soportar sus necesidades de voz, datos y video. Mientras que las redes 2G dependían de

los tradicionales interfaces E1 para unir estaciones base y red troncal, las redes 3G usaban ATM y E1, y las redes LTE usarán principalmente Ethernet como mecanismo de transporte. MPLS aparece solventando los problemas, unificando el transporte de todos los servicios sobre una única plataforma y aportando escalabilidad y control, todo sobre una única red de paquetes orientada a conexión que puede portar todas las aplicaciones sin interrupciones.

Conforme los operadores o proveedores de servicios evolucionan hacia la banda ancha móvil, necesitan una infraestructura de transporte de paquetes robusta que soporte GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA además de estar preparada para soportar LTE, WiMAX y la convergencia entre servicios fijos y móviles (FMC: Fixed-Mobile Convergence). Por todas las ventajas que presenta, MPLS se ha desarrollado e impuesto como la alternativa idónea para redes móviles, fijas y convergentes en la actualidad y también de cara a la evolución hacia Long Term Evolution (LTE) y las tecnologías móviles de Cuarta Generación (4G).

Por lo tanto, adoptar MPLS en la red de transporte de datos de los operadores de comunicaciones móviles, significa prepararla para las tecnologías del futuro como LTE, que estará basado completamente en IP y portadora Ethernet, siendo MPLS el principal soporte.

**Figura 86: Tabla Resumen y Comparativa de IP, MPLS y ATM**



### **5.3. Migración a MPLS**

Las operadoras de telefonía móvil partían de una red basada en equipos y medios PDH y SDH que transportaba información TDM generada por las Estaciones Base 2G, cuando se produjo la llegada de la tecnología 3G y sus nodos B ATM al mercado. En redes fijas de banda ancha como RDSI, el Modo de Transferencia Asíncrono o ATM estaba ya implantado y apoyado por los proveedores de servicios de red fija, siendo por tanto una tecnología madura, basada en estándares sólidos.

ATM, por tanto, era una tecnología avalada por su alta fiabilidad y la provisión de Calidad de Servicio (QoS) diferenciada y robusta, que se pensó para poder transportar señales de voz y datos simultáneamente de cara al previsible crecimiento del tráfico de datos, para el que la estática configuración TDM no era apropiada.

Por estos motivos muchas operadoras de telefonía móvil optaron por desplegar también ATM en sus redes troncales de transmisión de acceso con el fin de soportar los tráficos de voz y datos provenientes de los nodos B ATM.

Sin embargo, la proliferación de los servicios basados en IP y la aparición de la tecnología MPLS, junto con sus propiedades consideradas como ventajas frente a ATM hicieron que el panorama cambiase. Las Releases 5 y 6 del 3GPP incluyeron IP como tecnología de red 3G, y los operadores se dieron cuenta de lo interesante que resultaba migrar sus redes de datos a IP/MPLS/Ethernet, permitiendo disponer de una única infraestructura capaz de soportar todos los servicios: TDM, ATM, Ethernet, Frame Relay, telefonía móvil y fija, etc.

Aparte de las ventajas de MPLS en sí, el hecho de que exista una única red que transporte todos los servicios hace que las tareas de operación y mantenimiento de la misma se simplifiquen y reduzcan y, por consiguiente, también lo hagan los costes (CAPEX y OPEX). Todo esto, además, se consigue permitiendo la continuidad de los servicios preexistentes o “legacy” a la vez que es capaz de proporcionar soporte para las futuras redes de Cuarta Generación: LTE, servicio convergente fijo-móvil, VoIP, VPN sobre IP, etc.



Una vez visto claro la necesidad de introducir MPLS, los organismos de estandarización como el IETF, la ITU o la MFA<sup>20</sup> dedicaron sus esfuerzos a encontrar soluciones para realizar la migración de las redes existentes a MPLS, ofreciendo varias alternativas. En lo que se refiere a comunicaciones móviles, en las redes de los operadores debían coexistir tecnologías tan dispares como GSM, GPRS, EDGE, UMTS y HSPA, cada una con sus requisitos diferentes y que había que tener en cuenta a la hora de realizar la migración desde la red TDM y ATM existente. Por otra parte, con la llegada de los servicios basados en IP a la tecnología móvil (como HSPA), elevando los requisitos de capacidad, las infraestructuras TDM y ATM iban a ir cambiando poco a poco a infraestructuras IP y Ethernet cerca del acceso radio (el tráfico IP debe ser transportado preferiblemente sobre Ethernet).

Con esto en mente, parece obvio que la opción óptima para evolucionar la red troncal de acceso móvil era utilizar una red IP/MPLS, con sus múltiples ventajas y capaz de transportar tráfico TDM, ATM e IP sobre una única infraestructura. Para garantizar la continuidad de estos servicios y sus características es necesaria una baja latencia y posibilidad de ofrecer QoS, pero no será necesario el control de encaminamiento IP al encargarse MPLS de realizar la tarea de encaminar los paquetes a través de la nube en base a etiquetas de un nivel inferior. Por estos motivos se pensó que la mejor forma de migrar la red a MPLS sería mediante la creación de un núcleo MPLS separado de la red ATM, y usar VPNs de capa 2 (L2VPN) mediante pseudowires para migrar los servicios legacy a la misma. Respecto a la red troncal SDH preexistente, se ha mantenido para seguir dando soporte al tráfico de BTS y nodos B hasta el momento en que todas las tecnologías se integren en estaciones IP o se adapten los equipos SDH para transportar paquetes (STM-N no canalizado y tarjetas especiales).

El Pseudowire Emulation End-to-End o PWE3 es una tecnología de transmisión de servicios extremo a extremo de capa 2, que proporciona túneles sobre redes de conmutación de paquetes como IP o MPLS, con el fin de transportar servicios nativos (TDM, ATM, Frame Relay, Ethernet) emulando los protocolos de capa 2 para estos servicios. Estos PWE3 nos permiten por tanto transportar servicios de capa de enlace de datos sobre una red subyacente cada vez más desplegada y de mejor relación efectividad-coste como es la red MPLS, permitiendo la conexión entre la red tradicional

---

<sup>20</sup> MPLS Frame Relay ATM Forum

y la de conmutación de paquetes. Dicho de otra manera, estos pseudowires desacoplan los servicios y aplicaciones de la infraestructura subyacente que los transporta, consiguiendo que los servicios legacy atraviesen las redes de paquetes de alta capacidad conservando sus atributos.

Dos clases de PWE3 que se usan habitualmente en la práctica son los circuitos CES TDM o los PW ATM. Los primeros surgieron para aplicar los principios de los PW en el transporte de tráfico TDM de BTSs a través de los LSPs MPLS o de radioenlaces Ethernet, mientras que los segundos se establecen para llevar el tráfico ATM generado por un nodo B desde él hasta la RNC, a través de una red de paquetes como MPLS.

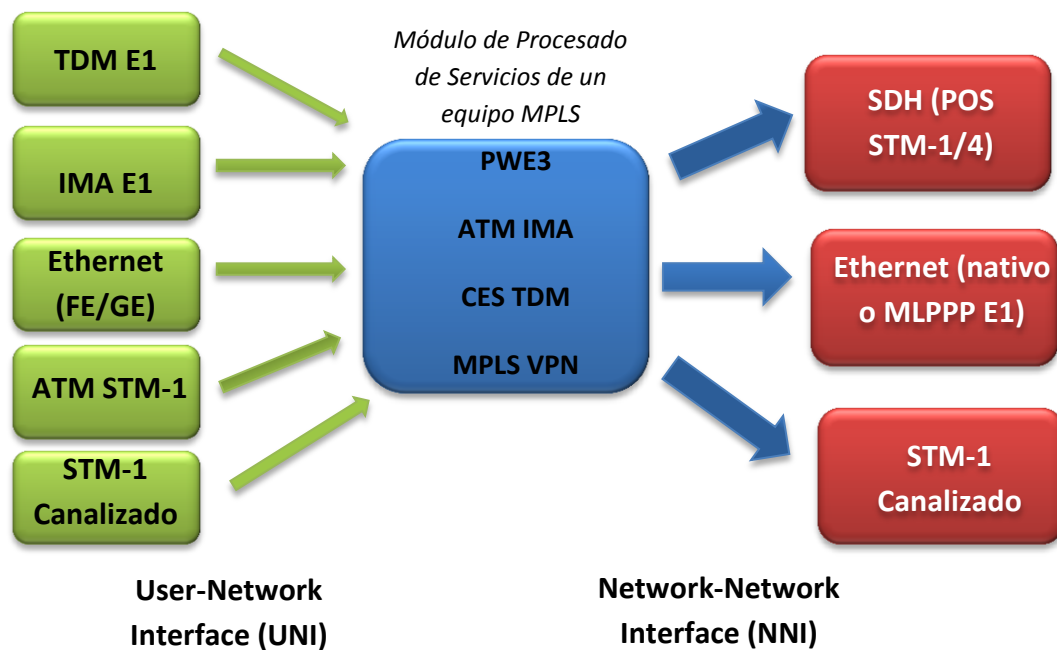


Figura 87: Mapeo de servicios entre interfaces UNI y NNI que se debe producir en un equipo MPLS para poder soportar todos los tipos de tráfico en la red MPLS

Con la llegada de la tecnología IP y Ethernet a la red en forma de radioenlaces Ethernet (híbridos o no) y equipos con puertos Fast y Gigabit Ethernet, deja de ser necesaria la creación de estos PWE3 de capa 2 en los casos en que los nodos B posean una ruta completamente Ethernet hasta el equipo MPLS más cercano (y éste tenga así mismo salida Ethernet). En esos casos diremos que los nodos B tienen configuración *full-IP* y haremos uso de L3VPN a través de la nube MPLS, siendo L3VPN un modelo de VPN punto a punto que utiliza los LSPs MPLS para llevar los datos y el protocolo BGP (Border Gateway Protocol) para intercambiar los datos de encaminamiento entre los LSRs implicados en la ruta de cada VPN, por lo que también se llama VPN IP BGP/MPLS. En la práctica se crea una L3VPN por zona (equipos MPLS conectados a la RNC), y a ella se van añadiendo nuevas configuraciones por cada nodo B que entra en un equipo MPLS remoto con origen en dicha RNC.

#### 5.4. Arquitectura y Funcionamiento

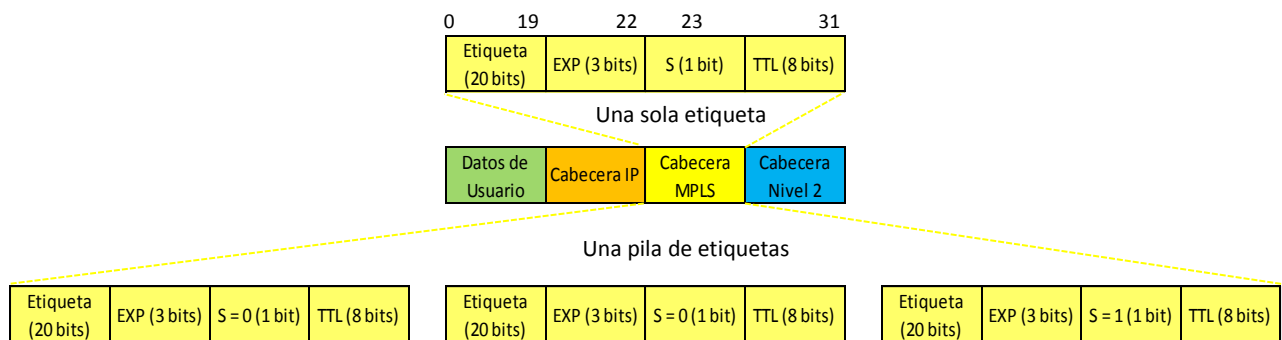
La red MPLS está formada por los siguientes componentes:

- **LSR (Label Switching Router).** Es un router de alta velocidad especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. Participa en el establecimiento de las rutas (LSPs), y es capaz de enviar paquetes de capa 3 nativos. A diferencia de los routers IP que conmutan basándose en la cabecera IP, los LSR se encargan de conmutar en función de la etiqueta MPLS. Los LSR pueden ser internos o extremos (llamados LER o Label Edge Router) según la posición que ocupan en la red MPLS. Los primeros se ocupan de sustituir/conmutar unas etiquetas por otras en los paquetes según se va realizando su encaminamiento, mientras que los segundos añaden etiquetas a los paquetes a la entrada y las eliminan en los de salida y son capaces de enrutar paquetes en redes externas a MPLS.
- **Etiqueta.** Es un identificador corto (de longitud fija 32 bits) y con significado local (en cada LSR), empleado para identificar un FEC (Forwarding Equivalence Class). A cada paquete se le puede anexar una o más etiquetas MPLS, lo que formaría una jerarquía llamada *pila de etiquetas*. Cuando un paquete atraviesa dominios interiores a otros dominios es cuando se produce el apilamiento de

etiquetas. Un LSR que recibe un paquete siempre consultará la etiqueta de nivel superior en la pila. La etiqueta o label MPLS es equivalente al VPI/VCI en ATM.

Cada etiqueta está formada por cuatro campos:

- Identificación de la etiqueta (20 bits).
- EXP o QoS (3 bits): bits experimentales o de definición del nivel de calidad de servicio.
- S (1 bit): se refiere a la pila de etiquetas, si S=0 significa que hay más etiquetas en la pila y cuando S=1 quiere decir que ya no hay más etiquetas, estamos en el fondo de la jerarquía.
- TTL (8 bits): Son las siglas de Time to Live, se decrementa en cada LSR y al llegar al valor de 0 el paquete es descartado.



**Figura 88: Esquema de la etiqueta o pila de etiquetas MPLS. El anidamiento de etiquetas permite crear túneles a través de las redes MPLS.**

- **FEC (Forwarding Equivalence Class).** En español “Clases de Equivalencia de Encaminamiento”, es el nombre que se le da al conjunto de paquetes que comparten los mismos atributos (dirección destino, VPN) y/o requieren el mismo servicio (multicast, QoS), y que se asigna en el momento en que el paquete entra a la nube MPLS. Todos los paquetes que pertenecen a una misma FEC y que parten desde un mismo nodo, se propagarán por la red siguiendo el mismo camino (mismo LSP).
- **LSP (Label Switched Path).** Es el nombre que recibe la ruta o camino MPLS que sigue todo el tráfico bajo el mismo FEC y consiste en un túnel entre dos extremos

de la nube MPLS. Este camino puede establecerse tanto mediante protocolos de enrutamiento (LSP dinámico) como manualmente (LSP estático), y es unidireccional. Para tener tráfico dúplex hay que definir dos LSPs, uno en cada dirección.

- **LDP (Label Distribution Protocol).** Es un protocolo de control para la distribución de etiquetas MPLS entre los equipos de la red. Un LDP es un conjunto de procedimientos por medio del cual un LSR le informa a otro acerca de las asociaciones que ha realizado entre FEC y etiquetas. Dos LSR que intercambian esta información son llamados pares de distribución de etiquetas, y entre ellos hay adyacencia de distribución de etiquetas. La arquitectura MPLS no supone la existencia de un único protocolo de distribución de etiquetas, de hecho, ya existen varios protocolos estandarizados: LDP, CR-LDP, BGP, RSVP-TE.

Por otra parte, el proceso de encaminamiento o “Label Swapping” que tiene lugar en los LSRs es el siguiente:

Primero, en la frontera de la nube MPLS un LSR externo (LER) recibe un paquete a su entrada y éste se asigna a un FEC particular, lo que se codifica con un valor llamado etiqueta. Dicha asignación del paquete a un FEC puede basarse en varias consideraciones (su dirección destino de nivel de red, el router de entrada a la red o cualquier información relativa al paquete sin provenir de la cabecera de red) e identifica al grupo de paquetes que será despachado por el mismo próximo salto. Se genera la cabecera MPLS.

En el siguiente salto, el paquete previsiblemente llegará a un LSR interno transportando una etiqueta asociada a su LSP; el LSR se encarga de mantener una tabla de encaminamiento de etiquetas, llamada LIB (Label Information Base), que especifica para cada etiqueta de entrada, qué etiqueta debe incorporarse al paquete en su salida y también por qué puerto debe salir para dirigirse al siguiente nodo. Por lo tanto, cada LSR intermedio realiza “label switching”, ya que conmuta los paquetes en función de la etiqueta (la más alta en la pila), y también “label swapping”, pues sustituye la etiqueta que posee el paquete a la entrada por otra etiqueta a su salida.

A primera vista el mecanismo parece similar al enrutamiento que realiza el protocolo IP en un router, sin embargo, no es así, pues a diferencia de IP en MPLS las etiquetas sólo tienen significado local (en un router), no global (en toda la red). Esta propiedad de MPLS supone una gran ventaja, ya que independiza la tarea de encaminamiento de un router de las tareas de control relacionadas con el mantenimiento y actualización de las tablas de enrutamiento ante cambios en la red (conexión/desconexión de routers), que en este caso se refieren al establecimiento o finalización de LSPs. Por ello, MPLS permite optimizar y hacer más rápidamente el proceso de encaminamiento dentro de un LSR.

Por otra parte, cabe mencionar que a la hora de mapear la etiqueta de entrada en una etiqueta y puerto de salida del LSR, es posible que la tabla LIB o LFIB ofrezca un conjunto de alternativas de salida (de las que tendremos que elegir una), lo que se hace comúnmente, y se puede usar por ejemplo para hacer un *balance de carga* entre rutas de igual costo.

✎ Nota: Cada LSR mantiene un LFIB (Label Forwarding Information Base), que es la base de datos que consulta para transmitir los paquetes que le llegan, y está constituida por tres tablas: NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry), ILM (Incoming Labeling Map) y FTN (FEC to NHLFE).

Por último, cuando el paquete llega al LSR extremo (final de LSP) o LER, éste elimina la cabecera MPLS del paquete, quedando sólo la carga transportada que puede ser un paquete IP o cualquier otro protocolo. El paquete o carga sigue el su camino por procedimientos ordinarios o no MPLS.

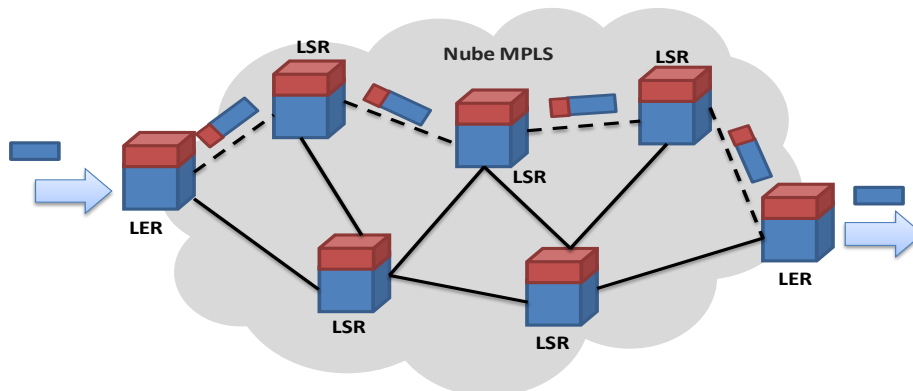
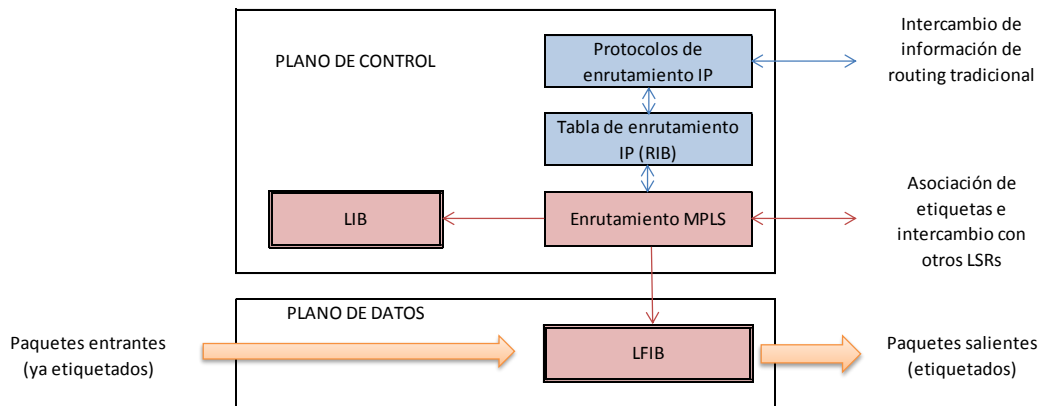


Figura 89: Paso de un paquete a través de la red MPLS, donde se le añade y conmuta la etiqueta, hasta que se extrae en el extremo de salida

**Figura 90: Plano de Control y Plano de Datos en un equipo MPLS**



Un sistema MPLS consiste en dos planos: uno de control y otro de encaminamiento de datos, como se muestra en la Figura 90.

El Plano de Control es no orientado a conexión, y utiliza la potente y flexible función de enrutamiento propia de una red de capa 3 o IP, la cual reúne los requerimientos de red de las nuevas aplicaciones. Por otra parte, el Plano de Encaminamiento o Plano de Datos es orientado a conexión y puede usar protocolos de redes de capa 2 como Ethernet. Así, el plano de datos MPLS puede conectarse continuamente a las redes de capa 2 como ATM o Ethernet, retransmitiendo rápidamente los paquetes encapsulados,

## 5.5. MPLS en la Red de Acceso

Como se ha visto en apartados anteriores, la tecnología MPLS está pensada para funcionar en redes de backhaul o transporte de paquetes y posee múltiples ventajas frente a las anteriores opciones existentes.

Se sabe que la parte de acceso de la red de comunicaciones móviles de un operador está formada por aquellos equipos encargados de llevar los datos generados por los usuarios desde su terminal móvil hasta la RNC o BSC, mientras que a partir de estos equipos nos encontraríamos con la red troncal o core network (núcleo de la red). A su vez, la red de acceso podría dividirse en dos partes: la red de acceso radio y la red de

transmisión de acceso. En este Proyecto la parte de interés es esta última, la red de transmisión de acceso móvil, y en ella se ha optado por desplegar MPLS en aquellos interfaces que más tráfico transportan, pudiendo llevar el tráfico de muchos nodos B, BTS y VPNs, y por extensión de decenas o cientos de clientes. Con el despliegue de equipos MPLS se consigue una red inteligente que se encarga de llevar la información desde los extremos más remotos del territorio cubierto por la misma hasta los centros de conmutación, de una manera transparente, rápida y fiable con garantías de QoS. Por estos motivos y dada la alta capacidad de los interfaces entre equipos MPLS, a la “nube” formada por estos equipos la llamaremos *red troncal de acceso*.

En la práctica, por tanto, se tiene una red de equipos MPLS situados en puntos de alta concentración de tráfico y conectados físicamente entre sí mediante varios medios físicos posibles (radioenlaces, fibra óptica, xDSL), a través de los cuales se definen/crean los caminos o LSPs necesarios para enlazar todos los equipos con los centros de conmutación, donde se encuentran las BSCs, RNCs y Media Gateways. Esto último significa que una vez creados los túneles LSP, si bien requieren cierto control y mantenimiento, puede introducirse tráfico por un determinado equipo MPLS, que entrará en la nube MPLS y saldrá por el equipo que se indique, sin tener que especificar para cada enlace lógico la ruta completa de equipos MPLS a atravesar.



**Figura 91:** Esquema de los equipos MPLS extremos, que constituyen los interfaces UNI o frontera entre los equipos no MPLS y la red MPLS

Normalmente se van a instalar varios de estos equipos (habitualmente dos por RNC para dar protección y repartir la carga) en cada centro de conmutación donde se encuentran las RNCs, BSCs y Media Gateways, a las que se interconectan (interfaz UNI) bien directamente (GE, STM-1 no canalizado ATM) o bien a través de otros equipos como SMX o DXX. Estos equipos también se conectan mediante el interfaz NNI con otros equipos MPLS de la red.

Por otra parte, múltiples equipos MPLS se reparten por el territorio que abarca la red, instalándose en aquellos puntos críticos donde confluye mucho tráfico. Entre estos equipos y los que se encuentran en los centros de conmutación se definen los túneles



LSP, normalmente uno principal y otro de protección, con tantos saltos como sea necesario.

Ahora bien, para introducir MPLS en la red se deben elegir qué equipos y de qué fabricante/s van a desplegarse de entre todos los disponibles en el mercado, que ya son varios. Como ya se ha comentado, en la red de acceso van a coexistir los servicios legacy con los nuevos servicios IP/Ethernet hasta la total migración, por lo que los equipos MPLS escogidos deberán soportar todos ellos. Así, el equipo MPLS adecuado deberá combinar la tecnología de emulación PWE3, MPLS y mecanismos de OAM y de conmutación de protección eficientes, con el fin de proporcionar servicios de calidad “Carrier-Class”, es decir, 99.999% de disponibilidad en redes de transporte de paquetes. Por lo tanto, los equipos MPLS ideales deben reunir una serie de características, soportar una serie de servicios y disponer de una serie de interfaces que se van a describir a continuación.

TIPOS DE SERVICIOS	
Ethernet	E-Line
	E-LAN
ATM	Emulación ATM
	Emulación IMA
TDM	CES E1

Figura 92: Tipos de Servicios que debe soportar un equipo MPLS para poder transportar servicios legacy e IP

Servicios que debe soportar el equipo MPLS, es decir, a los que debe permitir acceso desde el lado usuario (red de transmisión de acceso) a la red de paquetes MPLS:

- Servicios **Ethernet**:
  - **E-Line**: Se trata de líneas virtuales privadas punto a punto, de nivel 2, que se aíslan y diferencian del resto del tráfico mediante el parámetro VLAN. El hecho de ser virtual (se construyen sobre la red “pública”) permite a las empresas que desean contratar líneas privadas ahorrarse el alquiler de la línea física, pero con una seguridad, fiabilidad y gestión similares a las tradicionales redes privadas. La red MPLS debe ofrecer a

este servicio protección (túneles 1+1, ingeniería de tráfico), calidad QoS (DiffServ o QoS jerárquica) y OAM eficiente.

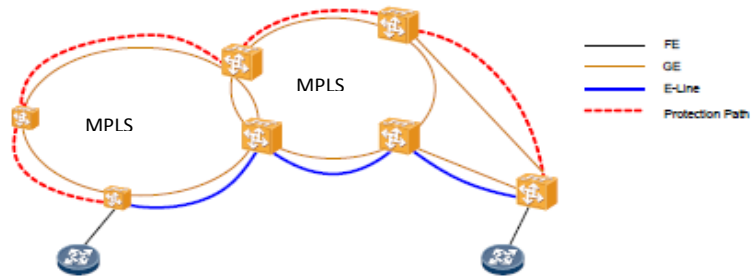


Figura 93: Esquema de un servicio E-Line (principal y protección) entre dos equipos no MPLS

- **E-LAN:** Se trata de líneas virtuales privadas multipunto a multipunto, de nivel 2. El tráfico de las diferentes ramas se aísla mediante diferentes VLAN, de igual forma que se diferencia tráfico de Internet y de Intranet. La red MPLS también debe ofrecer a este servicio protección (túneles 1+1, ingeniería de tráfico), calidad QoS (DiffServ o QoS jerárquica), autenticación de usuarios y OAM eficiente.

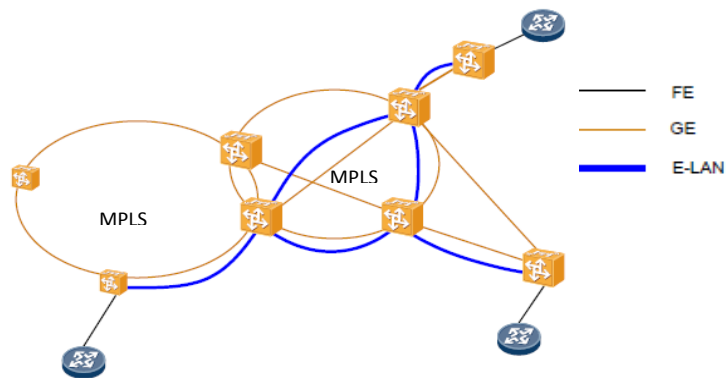


Figura 94: Esquema de un servicio E-LAN en la red MPLS

- **E-Aggr o E-Tree:** Consiste en un servicio punto a punto bidireccional convergente. Para construir una red 3G, un operador necesita realizar la convergencia de los servicios provenientes de cada nodo B para transmitirlos así a la RNC. El flujo de datos entre un nodo B y la RNC se considera un servicio. En el punto de convergencia (interfaz RNC-red

MPLS) se especifica el ancho de banda para los servicios para asegurar QoS.

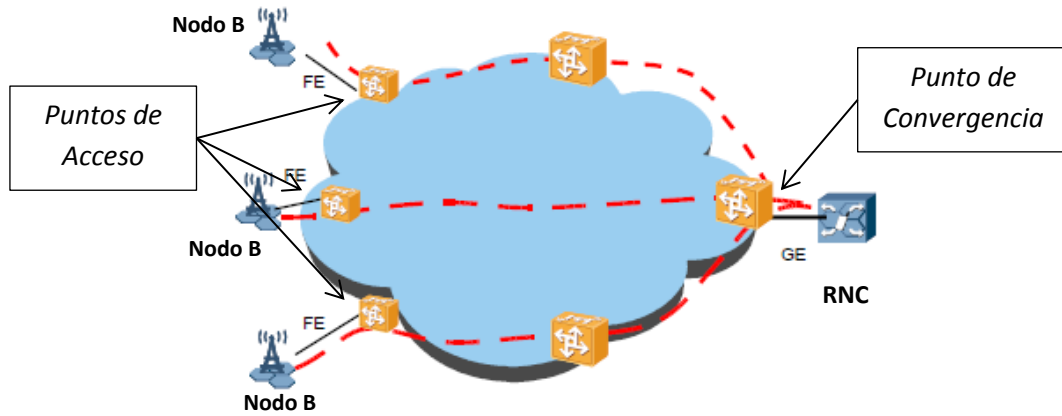


Figura 95: Esquema del servicio E-Aggr o E-Tree en la red troncal de acceso MPLS

- Servicios ATM:

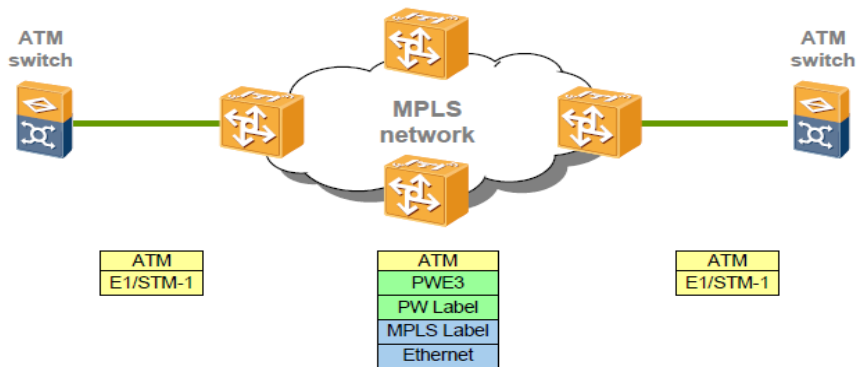


Figura 96: PWE3 ATM sobre túnel MPLS

- **Emulación ATM:** Los servicios ATM acceden por el equipo más cercano a la fuente, el cual encapsula las celdas ATM en un pseudowire (PW) para ser transportadas al nodo destino, donde se recupera el flujo de celdas inicial. De esta forma los servicios ATM son emulados. El mapeo entre ATM y los paquetes del PW puede hacerse 1:1 o N:1, de los VCC o de los VPC. Ver Figura 96.

- **Emulación IMA:** *Inverse Multiplexing for ATM* o *Multiplexación Inversa para ATM*, consiste en transportar ATM sobre varios circuitos E1 (PDH) o VC-12 (SDH), llamado Grupo IMA, cuya capacidad virtual resultante es aproximadamente la suma de los distintos enlaces. Esto permite reutilizar la infraestructura TDM existente para tráfico ATM. Además, es una forma de protección, pues si alguno de los enlaces E1/VC-12 se cortara, el tráfico se reparte entre los restantes sin afectar al servicio.

En la práctica, esta técnica se emplea para transportar los datos generados por los nodos B ATM a través de la red de acceso TDM, de manera transparente, permitiendo ampliar gradualmente el ancho de banda de los mismos conforme se requiere. Para cada nodo B se crea un grupo IMA sobre varios E1s PDH, hasta un máximo de 8 E1s (el número de puertos E1 de cada nodo es 8) (ver en 117 Tipos de Iub). Los enlaces IMA van agrupados hasta llegar al interfaz UNI con un equipo MPLS, donde el grupo IMA finaliza y comienza la emulación PWE3 de los servicios ATM.

- **Servicios TDM:**

- **CES E1:** Otro servicio que puede acceder desde el lado de usuario (UNI) es tráfico TDM como el proveniente de las BTS 2G o las VPNs de voz. Con el fin de mantener sus atributos, este tráfico debe enviarse a través de la red de paquetes de manera transparente, lo que se consigue mediante la emulación o CES E1. El equipo MPLS debe realizar CES del tráfico TDM procedente de los interfaces E1 eléctricos y de los STM-1 ópticos (VC-12). (Ver Figura 110 y Figura 111 en ejemplo de página 220). Además, la emulación de un circuito E1 se puede realizar de forma estructurada y no estructurada. El equipo MPLS debe soportar ambos: *CESoPSN* (el equipo percibe la estructura de trama y la información de los timeslots, procesa la cabecera, extrae la carga y encapsula cada canal de timeslot en la carga de los paquetes (PW PDU) siguiendo una cierta secuencia para que cada canal sea fijo y conocido) y *SAToP* (el equipo no detecta estructura TDM alguna, por lo que considera la señal como un

flujo de bits de tasa constante, emulándose todo el ancho de banda de la señal TDM y enviándose tanto cabecera como carga de forma transparente por la red de paquetes). La ventaja del modo estructurado es la supresión de los timeslots sin información útil, ahorrándose ancho de banda de transmisión (64kbps/TS). Por otra parte, ambos modos requieren unos altos requerimientos de sincronización del reloj, que debe proporcionar el equipo.

Para soportar estos servicios, el equipo MPLS escogido debe poseer una serie de interfaces normalizados que permitan el acceso de todo tipo de información y en los formatos existentes:

- Interfaz **UNI** (User-Network Interface): Es el interfaz entre la red de transmisión de acceso y la red MPLS, donde se produce el acceso de los servicios de usuario a la red de paquetes y viceversa. Los interfaces y servicios que debe ofrecer son:
  - TDM E1
  - IMA E1
  - ATM STM-1
  - Fast Ethernet (eléctricos) y Gigabit Ethernet (ópticos)
  - STM-1 canalizado para acceso de IMA/CES
  
- Interfaz **NNI** (Network-NetworkInterface): Es el interfaz que se encuentra entre equipos MPLS, donde la información viaja en paquetes pertenecientes a PWE3. Los enlaces físicos que unen los equipos MPLS entre sí suelen ser fibra óptica y radioenlaces, y las tecnologías de transporte usadas son:
  - Packet over SONET/SDH (POS) STM-1/4
  - Gigabit Ethernet
  - MLPPP E1
  - STM-1 canalizado para MLPPP

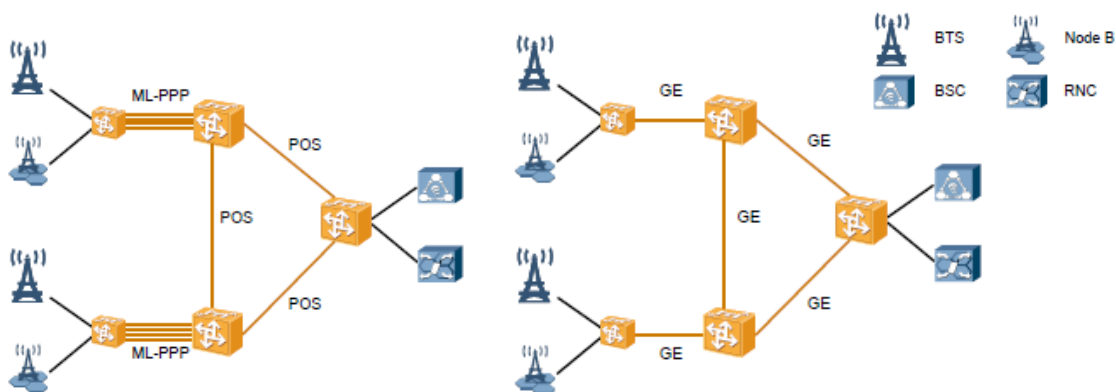


Figura 97: Configuraciones de interconexión entre equipos MPLS (equipos naranjas) típicas, siendo la segunda la configuración futura para el escenario all-IP. También suelen encontrarse combinaciones de éstas.

🔗 **Medio de transmisión PDH (radioenlace) o SDH (STM-1 canalizado): creación de MLPPP**

En los casos en que dos equipos MPLS se encuentran interconectados mediante un enlace TDM, previamente a la definición de los túneles LSP se debe crear un MLPPP (RFC 1990 de IETF). El MLPPP o Multilink Point to Point Protocol consiste en agrupar múltiples flujos E1 sobre los que se establece el protocolo PPP (Point-to-Point Protocol), del que MLPPP se considera una extensión. MLPPP o *agregación de enlaces* utiliza múltiples flujos E1 o VC-12 de 2Mbps (enlaces físicos) con el fin de crear un único enlace lógico PPP de mayor capacidad, compartir la carga de tráfico y ofrecer back-up. El back-up o protección hace referencia al hecho de que si un enlace del MLPPP falla, la carga se reparte entre los enlaces restantes sin sufrir cortes gracias a rápidos métodos de detección de pérdida de la señal y al proceso de conmutación hacia los enlaces operativos.

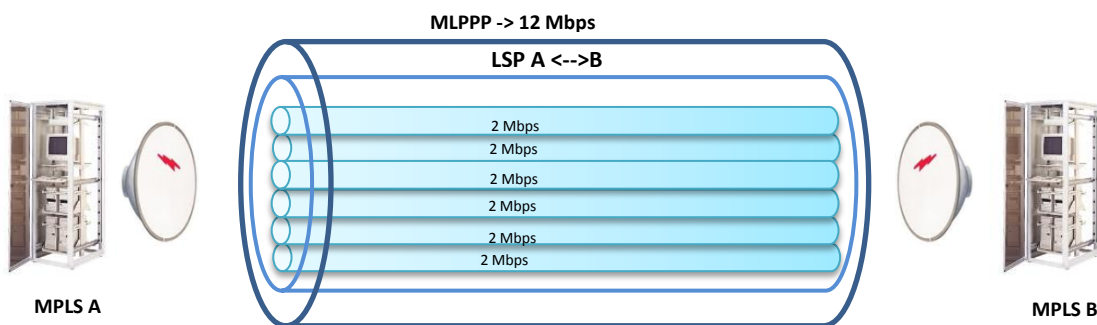
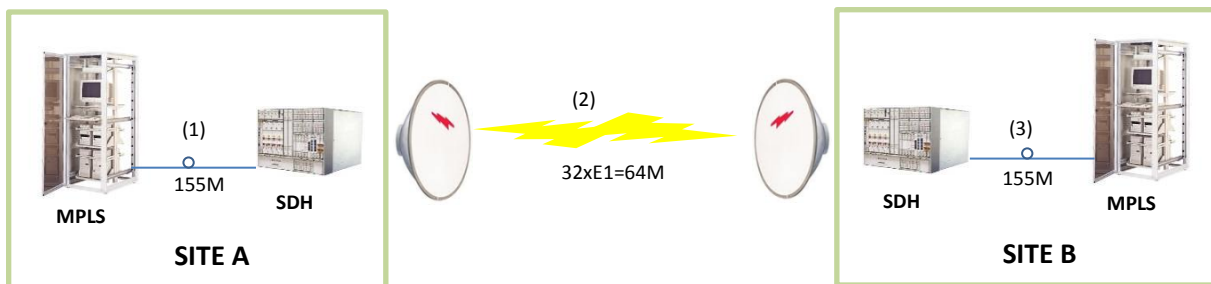


Figura 98: Interfaz MLPPP en el que 6 enlaces E1 punto a punto se agrupan para formar un enlace de capacidad virtual mayor (12Mbps). De esta forma, se amplía en ancho de banda, y la carga se reparte y protege.

Tal como se observa en la Figura 98, se puede constituir un MLPPP sobre N conexiones E1, y por tanto tener un enlace virtual de Nx2Mbps. De esta manera conseguimos una “tubería” de mayor capacidad para enviar paquetes. La pila de protocolos sería PWE3(IP,ATM,TDM)/MPLS/MLPPP/PDH(E1).

Las ventajas de MLPPP son su orientación al envío de paquetes fragmentados (para evitar que grandes paquetes monopolicen el multilink) pensada para entornos IP, su baja información de overhead o cabecera y que realiza un mapeo eficiente de tramas ATM. Esta tecnología consiguió a finales de los años 90 solventar las necesidades de incrementar el ancho de banda disponible por parte de las compañías, permitiendo “unir” varias conexiones E1 y por tanto realizar un aumento progresivo de capacidad, en lugar de dar un salto hasta el E3 (34 Mbps), que era el siguiente servicio disponible de alta velocidad PDH y que suponía un coste más elevado.

En la red de acceso móvil se constituyeron múltiples MLPPP a través de los flujos E1 libres de radioenlaces PDH o de varios VC-12 de jerarquías ópticas canalizadas STM-1. Estos MLPPP tradicionalmente se han usado en interfaces NNI para el transporte de señales TDM (E1 y VC-12) de BTS, y servicios IMA ATM o ATM STM-1 de nodos B. Sin embargo, el éxito y rápida implantación de equipos y radioenlaces Ethernet que se está produciendo, que permiten interfaces de gran ancho de banda (Fast Ethernet de 100Mbps o Gigabit Ethernet de 1000 Mbps) para el envío de paquetes y a bajo coste, ha dejado obsoleta esta tecnología, por lo que estos multilinks se están borrando y sustituyendo por enlaces FE o GE que conectan directamente los equipos MPLS entre sí.



**Figura 99: LSP formado por tres tramos físicos: jerarquía óptica + RE + jerarquía óptica**

A modo de ejemplo práctico, imagínese el siguiente escenario: existen dos equipos MPLS ubicados en sendos emplazamientos y conectados físicamente entre sí mediante tramos SDH y un radioenlace PDH de 32 E1s (64 Mbps). A través de esa conexión se necesita crear un túnel LSP entre ambos equipos MPLS, usando para ello un MLPPP para conseguir un canal de mayor capacidad.

En la Figura 99 se observa un esquema del escenario descrito. En cada emplazamiento se dispone de un equipo MPLS conectado a través de fibra óptica a un equipo multiplexor/demultiplexor SDH, que a su vez se conecta al extremo correspondiente del radioenlace mediante puertos E1. Se ha comprobado en las bases de datos que a través del radioenlace hay 20 flujos E1 que no se están utilizando, y también se ha comprobado que a través de las jerarquías ópticas SDH de 155 Mbps (STM-1) que unen equipos MPLS y MUX/DEMUX existen suficientes VC12. Lo primero que se tiene que hacer será definir 20 enlaces lógicos de 2Mbps (punto a punto) a través de los 3 tramos que unen ambos equipos MPLS. Una vez definidos los enlaces punto a punto, se crea un Multilink PPP sobre todos ellos, con lo que se dispondrá de un tubo de capacidad equivalente 40 Mbps a través del cual se pueden enviar paquetes/celdas. Por último, se define el LSP MPLS a través del tubo MLPPP, por lo que el LSP ya no “ve” 20 enlaces de 2Mbps sino uno único de 40Mbps.

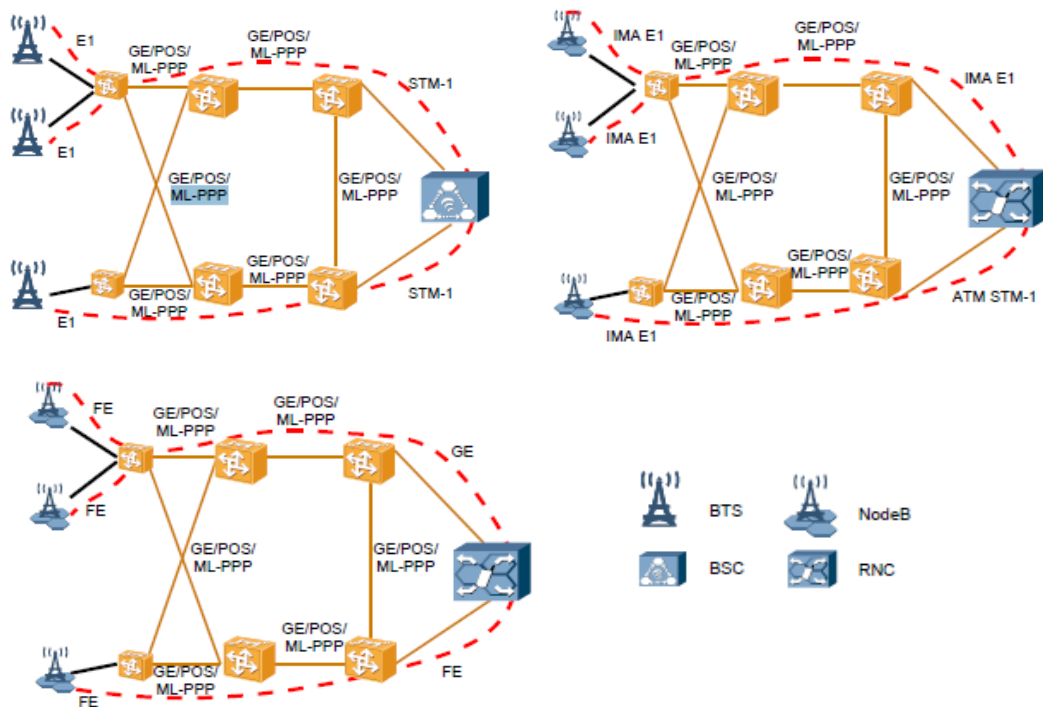
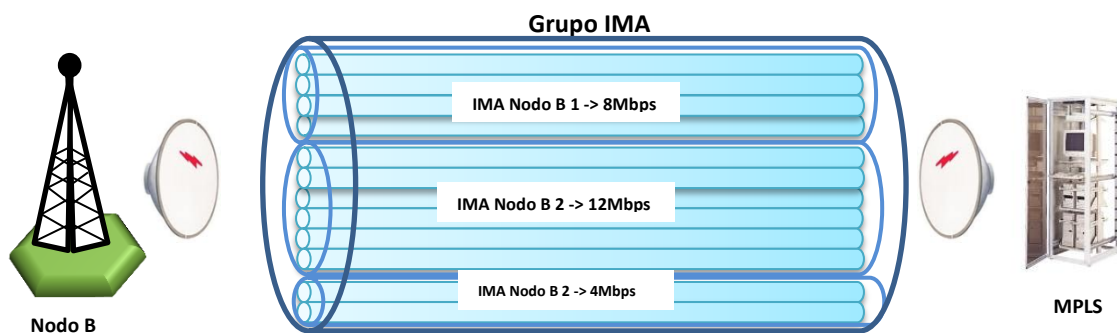


Figura 100: Esquemas del transporte de servicios E1, IMA E1 y Ethernet a través de la red MPLS formada por enlaces MLPPP, POS y GE [22]



Las tecnologías MLPPP e IMA son utilizadas para crear tuberías de mayor capacidad virtual entre dos puntos cuando el medio de transmisión disponible es PDH y/o SDH, pareciéndole a los niveles superiores que se trata de una única conexión de capa 2 (enlace de datos). la diferencia radica en el uso práctico que se hace de cada una: mientras que MLPPP se crea para que ser atravesado por paquetes MPLS (por tanto en la parte interna de la red troncal de acceso o NNI) de múltiples nodos B y BTS simultáneamente simulando un único enlace común para todos ellos, pudiendo agregar decenas de E1s en un único multilink; los grupos IMA se definen uno por y para cada nodo B, es decir, cada grupo IMA lleva tráfico del nodo B para el que se ha creado, agregan hasta un máximo de 8 E1s, y además finaliza a la entrada a la red MPLS.



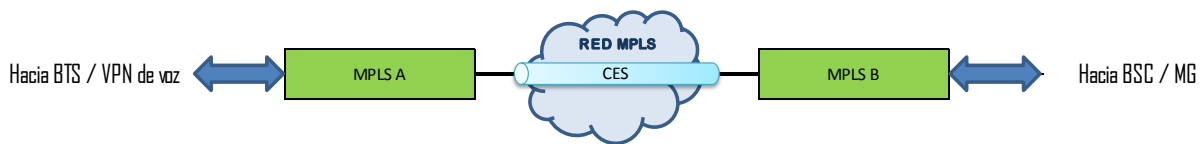
### 🔗 Medio de transmisión Ethernet sobre radioenlace o fibra óptica: enlace Gigabit Ethernet

Cuando se dispone de fibra óptica o de un radioenlace Ethernet para interconectar los equipos MPLS se simplifica muchísimo la definición de túneles LSPs, pues su definición se limita a establecerlos sobre esos medios utilizando los puertos Gigabit Ethernet ópticos de los equipos, es decir, el medio ya es un único tubo de gran ancho de banda para transportar los paquetes de todos los nodos B y BTSs, sin ser necesarios más protocolos intermedios (salvo el PWE3). La pila de protocolos sería IP/MPLS/Ethernet.

La tecnología Ethernet permite crear configuraciones full-IP para los nodos B, de manera que deja de existir el límite de capacidad de 8 E1s (16 Mbps) para ellos y se eleva hasta un máximo de 100Mbps (si la capacidad de todos los enlaces intermedios es de 100Mbps o más) gracias a los puertos Fast Ethernet disponibles en estos nodos.

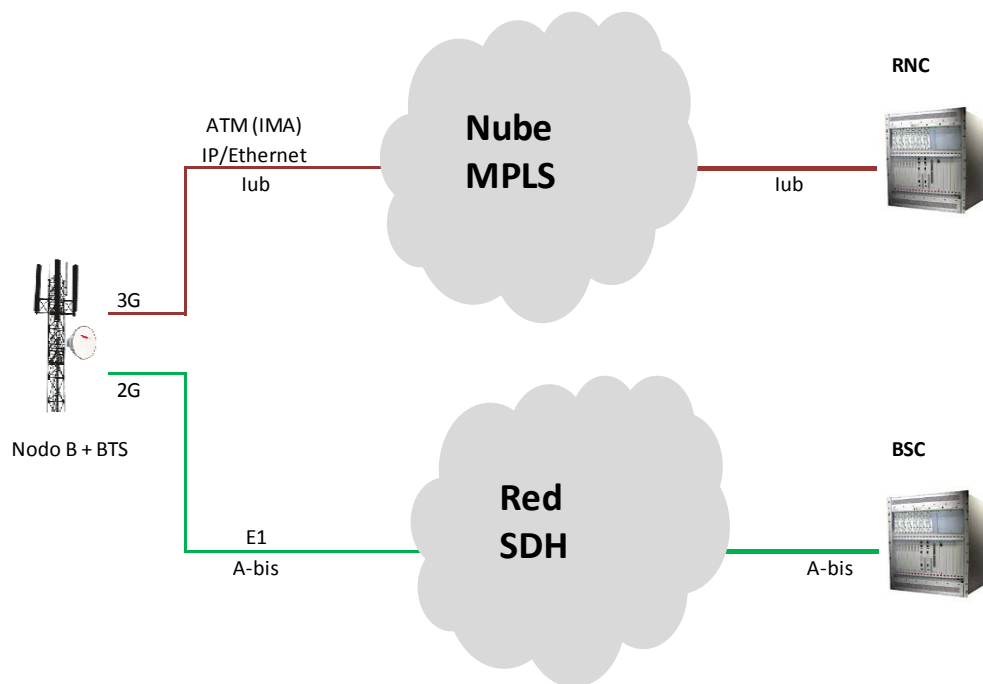
Mediante los puertos Gigabit Ethernet de los equipos MPLS se pueden crear LSPs de hasta 1Gbps cuando éstos se conectan a fibra óptica, lo que se da habitualmente en múltiples puntos de núcleos urbanos y algunos otros con acceso a este medio de transmisión (i.e. puntos cercanos a líneas de RENFE, alquilando ductos a Telefónica, o haciendo obras para llegar a donde interesa).

La excepción en el funcionamiento de este sistema se da al introducir el tráfico TDM generado por estaciones base 2G o VPNs de voz en un LSP Ethernet. En estos casos se tiene que crear un circuito CES para cada E1 de cada fuente TDM, para que se reserven recursos a través del LSP. El inconveniente de crear un CES es que la capacidad utilizada es algo mayor de los 2.048Mbps que tiene el E1 por sí sólo, por lo que en muchas ocasiones se debe valorar si es conveniente introducir el tráfico TDM en la nube MPLS o si por el contrario es mejor no hacerlo y llevarlo por separado hasta encontrar acceso a la red SDH.



**Figura 101: Esquema de un PWE3 o CES TDM a través de la red MPLS**

La idea de llevar tráfico 3G de nodos B y 2G de BTSs por redes troncales de acceso separadas (en la medida de lo posible) también resulta interesante en cuanto a que ofrece protección ante caídas en alguna de ellas. Si el tráfico 2G circula por la red SDH hasta llegar a las BSCs y el 3G lo hace por la red MPLS hasta las RNCs, en caso de que haya un fallo en una de las dos redes no quedaría una zona sin absolutamente nada de cobertura. Esto puede ser interesante, por ejemplo, en núcleos urbanos con mucha concentración de usuarios, donde una caída en un punto de la red MPLS o SDH puede resultar en la pérdida de servicio para muchos usuarios. Diversificando redes conseguimos que al menos una de las dos tecnologías (2G o 3G) siga operativa.



**Figura 102:** El servicio ofrecido a los usuarios por un determinado site está protegido por diversidad de caminos físicos del tráfico 2G y 3G

### ✎ Transmisión de paquetes sobre SDH: Packet over SONET/SDH (POS)

La opción más sencilla si se dispone de una infraestructura SDH es la de introducir los paquetes en los contenedores, lo que se denomina "POS" ("Packet Over SONET/SDH") y requiere la existencia de una capa intermedia llamada PPP<sup>21</sup>.

POS es por lo tanto un protocolo de comunicaciones, que está definido y estandarizado por el IETF en el RFC 2615. El esquema POS permite usar la encapsulación del protocolo PPP para mapear datagramas IP dentro de la carga o payload de las tramas SDH/SONET. Se trata de un protocolo altamente escalable que supera algunas ineficiencias de ATM a la vez que compatibiliza la interconexión de redes de datos con las arquitecturas SDH/SONET existentes. Es, por tanto, una alternativa a ATM sobre SDH para redes IP, o MPLS como es el caso. Además, suprime la necesidad de conmutadores ATM y conecta los routers directamente a los ADM de SDH.

<sup>21</sup> Point to Point Protocol: Protocolo definido en RFC 1661, proporciona un método estándar para transportar datagramas multiprotocolo sobre enlaces punto a punto.

La alternativa POS se ha llevado a la práctica en redes de área extensa (WAN) en general y en las redes de acceso móvil en particular, donde como se ha mencionado ya existía una red SDH desplegada. Como ventajas, la modalidad IP sobre PDH permite flexibilidad de servicios al poder transportar al mismo tiempo paquetes y telefonía tradicional (TDM), es más eficiente que ATM al reducir la sobrecarga y la complejidad, permite realizar tareas de O&M y soporta velocidades de transmisión de hasta STM-16 (2.5Gbps).

A pesar de estas ventajas la alternativa POS no ha sido muy extendida en la práctica, limitándose a algunos enlaces SDH STM-1 (155'52 Mbps) de la red troncal de acceso. Hoy en día todavía se podrían encontrar algunos escenarios así en la red, usados para el transporte de servicios procedentes de E1, STM-1, IMA E1 o STM-1 ATM, aunque con el tiempo se eliminarán. Esto puede deberse a que, además de existir ya alternativas mejores para transportar todo tipo de tráfico sobre una misma plataforma, como Ethernet, la tecnología POS presentaba algunos inconvenientes, a saber: no permitía establecer circuitos virtuales como ATM (no ofrece QoS) sino solamente redes de datagrama, aunque MPLS extendió la funcionalidad de POS para soportar circuitos virtuales de este tipo.

Esta opción en escenarios de fibra óptica es más interesante si incluimos WDM (Wavelength Division Multiplexion) en lo que sería una implementación IP/SDH/WDM, al permitir transportar varios canales ópticos sobre una única fibra óptica. Estudios demuestran las ventajas de introducir WDM en la red tradicional IP/SDH, aunque estos aspectos quedan fuera del alcance de este proyecto.

## **CAPÍTULO 6**

### **EJEMPLOS DE ESCENARIOS**

---

En esta sección se va a describir con más detalle las distintas topologías de interfaz Abis e Iub que se pueden encontrar y configurar habitualmente en la práctica. También se van a representar los circuitos para VPNs que se definen con frecuencia para dar servicio de voz y datos a clientes empresariales de la operadora. Por último, veremos algún ejemplo de Abis e Iub unificados en la red all-IP convergente.

La representación que se mostrará va a ser un esquema de los enlaces lógicos de los elementos finales (BTS, Nodo B, VPN), en su ruta desde éstos hasta el centro de conmutación, donde se encuentran las BSCs, RNCs, etc.

El código de colores que se va a seguir en este capítulo es el siguiente:

- Azul: Elementos tipo BTS 2G y Nodo B 3G.
- Verde Claro: Radioenlaces PDH.
- Verde oscuro: Radioenlaces Ethernet.
- Amarillo: Equipos SDH.
- Violeta: Equipos MPLS.
- Naranja: Elementos del Centro de Conmutación (CdC), es decir, BSC, RNC, MG, BRAS.

## 6.1. Escenarios 2G

### 6.1.1. Topología Básica de una BTS por Red PDH/SDH

La topología típica y básica del interfaz Abis de una BTS consiste en circuitos lógicos (uno o dos) de 2Mbps (E1) a través de la red TDM. Se puede ver un ejemplo en la Figura 103.

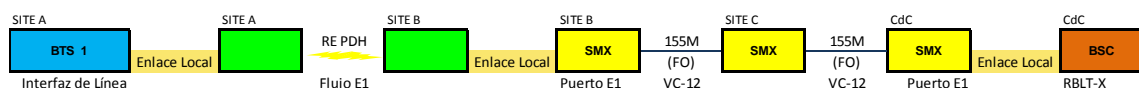


Figura 103: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS - Red TDM - CdC (BSC)

En el ejemplo de la figura se pueden observar los equipos (cajas) y enlaces (tramos entre cajas) que tiene que atravesar la ruta de información de una BTS hasta llegar a la BSC. Dos equipos que se encuentran en la misma localización se interconectan mediante enlaces locales: cable de cobre conectado a un puerto E1 de cada equipo. En este caso la ruta detallada sería: en el Site A se conecta uno de los interfaces de línea (puerto E1) de la BTS a uno de los tributarios/flujos libres del equipo destino del radioenlace PDH mediante enlace local. La información pasa a través del aire, del extremo destino al extremo origen del radioenlace (Site B), donde sale por el tributario correspondiente y se conecta en local con un equipo SDH (SMX) también a través de un puerto E1. En ese punto los 2Mbps de la BTS pasan a ocupar un contenedor virtual (VC-12) dentro de la jerarquía óptica STM-1, donde viajan encapsulados a través de la fibra óptica hasta llegar al Site C, donde el E1 pasa a la siguiente jerarquía óptica. En el Site C no es necesario realizar conexiones físicas ya que el SMX simplemente extrae el VC-12 correspondiente y lo introduce de nuevo en otro VC-12 en la siguiente jerarquía. El siguiente salto llega al CdC, donde se extrae la información del VC-12 y sale de nuevo en forma de E1 para conectarse en local con una RBLT libre de la BSC.

Esta configuración es la tradicional de conmutación de circuitos para tráfico vocal como el generado por los terminales GSM. Mientras el enlace lógico esté definido los recursos se mantienen reservados a lo largo de la ruta de forma estática y permanente, de manera que ningún otro elemento (BTS/Nodo B/VPN, etc.) podrá utilizarlos aunque parte de los 2Mbps no se estuviesen usando. De hecho, lo habitual es que algunos canales de 64kbps dentro de la trama PDH se encuentren vacíos, por lo que esa capacidad se desaprovecha.

**Ventajas:** Se garantiza ancho de banda constante durante el tiempo que dura la conexión de un usuario, pues tiene recursos dedicados (salvo corte o fallo en la red). Además, en la parte de la ruta que utiliza la red SMX (suele tener topologías en anillo para protegerse frente a cortes), podríamos definir tramos de protección a través de caminos alternativos para llegar a la BSC.

**Desventajas:** Al reservar recursos de forma estática, no se pueden compartir ni si quiera cuando no se estén usando.

### 6.1.2. Topología por DXX

Los DXX son equipos que nos permiten optimizar el uso que se hace de los recursos en la red, concretamente en el interfaz Abis.

Los DXX o Cross-conectores Digitales son conmutadores de circuitos que convierten los flujos E1 a su entrada en otros flujos E1 a su salida, en los que se han multiplexado de nuevo los timeslots con información y eliminado los timeslots vacíos. Por lo tanto, se requiere menor capacidad para transmitir la misma información y se hace más eficientemente. La información entre DXX se realiza a través de *trunks* en los que en todo momento se tiene identificado a qué BTS pertenece cada timeslot.

En la actualidad los DXX se están quedando obsoletos debido a la disponibilidad de recursos de anchos de banda superiores, capaces de transportar hasta la BSC los circuitos enteros E1 de cada BTS sin problemas. Por este motivo se realizan cambios de topología de los enlaces lógicos sacándolos de los trunks y dejándolos vacíos para eliminar los DXX.

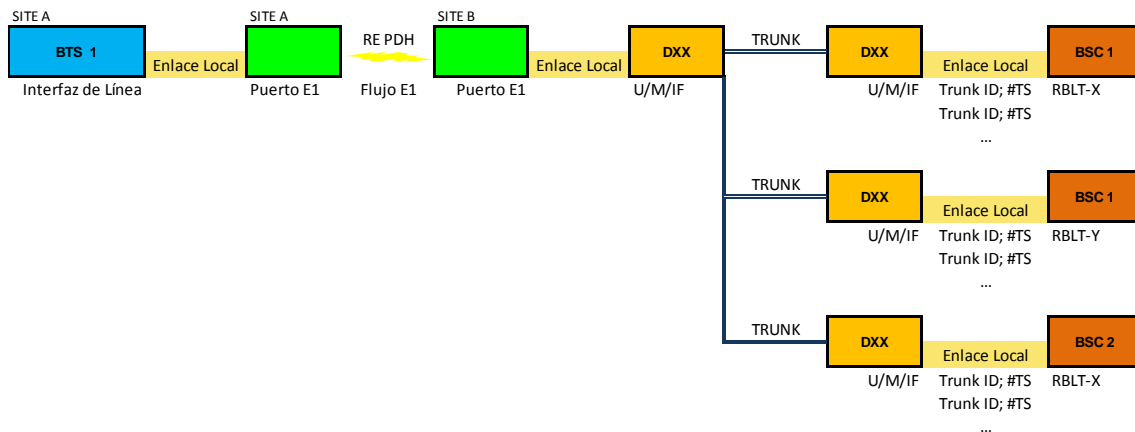


Figura 104: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS - Red TDM - DXX Trunks - CdC (BSC)

Como se puede apreciar esquemáticamente en la Figura 104, cuando el E1 entra a un DXX, sus timeslots útiles (los que llevan tráfico) se dirigen hacia los trunks de salida donde pueden viajar separados, llegar a distintos DXX destino (en distintas ubicaciones), a distintas RBLTs de la misma BSC o incluso a BSCs diferentes. También puede ocurrir al revés, que el tráfico de dos o más BTSs haya entrado por diferentes DXX y salga por el mismo puerto hacia la misma RBLT. Por lo tanto, basta con



especificar a la salida del/los DXX el trunk (TRUNK ID) y los números de timeslot (#TS) que se desean extraer del DXX para conectarlos a la BSC. Se puede extraer cualquier TS# de cualquier trunk y llevarlo a cualquier RBLT siempre que el enlace local E1 que una DXX-BSC disponga de espacio libre. Esto implica que una misma RBLT puede soportar varias BTS diferentes, y una BTS puede tener timeslots en varias RBLTs o BSCs.

Ventajas:

- 👉 Agregación de timeslots en enlaces (trunks) de capacidad menor a la total de entrada: ahorro de capacidad y mayor eficiencia en uso de recursos.
- 👉 Se aprovechan mejor los recursos en la BSC, pues se puede introducir más de una BTS por RBLT cuando una sola BTS no completa la totalidad de un E1.
- 👉 Flexibilidad de transmisión a nivel de timeslot.

Desventajas:

- 👉 Gestión compleja dado el tratamiento a nivel de timeslot. Requiere más tiempo al ingeniero de transmisión realizar cualquier cambio sobre los enlaces lógicos, pues debe tener en cuenta cada timeslot y su ruta.
- 👉 En la actualidad ya existen radioenlaces Ethernet y PDH de alta capacidad y enlaces SDH con capacidad de sobra para permitirse que todas las BTS dispongan de un E1 completo extremo a extremo aunque suponga un uso menos eficiente de los recursos.

### 6.1.3. BTSs encadenadas

Cuando no se dispone de recursos suficientes a la salida de un emplazamiento para soportar un E1 para cada elemento, se puede optar por encadenarlos. Veámoslo mejor a través de un ejemplo.

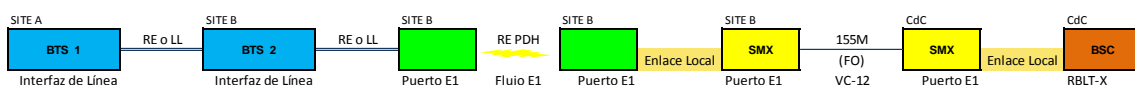
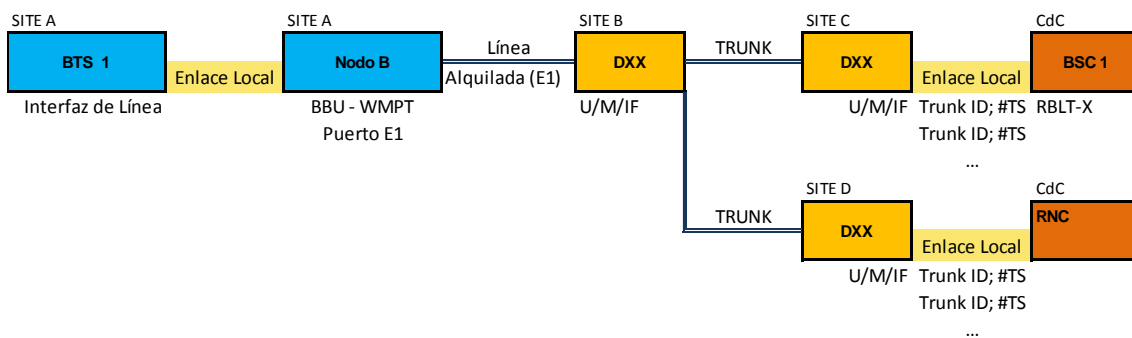


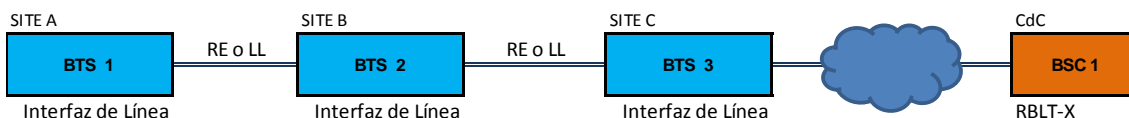
Figura 105: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) BTS 1- BTS 2 - Red TDM - CdC (BSC)

El ejemplo de la Figura 105 es de los escenarios más sencillos que se pueden encontrar. Hay una BTS (1) que en su ruta hacia la BSC pasa por el emplazamiento donde se encuentra otra BTS (2), resultando que a la salida de ésta no hay capacidad de transmisión suficiente para dos E1s (por ejemplo porque sale por una línea alquilada o LL de un E1). La solución rápida y barata es encadenar ambas BTS, de forma que se tenga una salida conjunta donde unos timeslots pertenecen a una BTS y otros a la otra. En el caso del ejemplo, los timeslots viajan dentro del mismo E1 por toda la red y llegan a la misma RBLT de la misma BSC.

Sin embargo, este escenario puede complicarse casi tanto como podamos imaginar: se pueden encontrar cadenas de 2, 3, 4 y 5 estaciones, cadenas de BTSs y nodos B, elementos que llegan juntos al CdC, otros que se separan por el camino (DXX) y llegan a destinos diferentes, encadenaciones a mitad de ruta, etc.



**Figura 106: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido BTS 1- Nodo B - DXX (Trunk) - CdC (BSC y RNC). El site C y el site D pueden ser el mismo o ser emplazamientos diferentes, en función de la BSC y RNC correspondientes.**



**Figura 107: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido por 3 BTS encadenadas. La nube representa la red que atraviesa el E1 hasta llegar al CdC: radioenlaces, jerarquías ópticas, trunks entre DXX...**



**Figura 108: Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) compartido por 3 BTS encadenadas. Las nubes representan la red que atraviesa el E1 hasta llegar primero a la tercera BTS, y luego al CdC: radioenlaces, jerarquías ópticas, trunks entre DXX...**

#### Ventajas:

- 👉 Se aprovechan mejor los recursos disponibles compartiéndolos entre BTS que no completan un E1 con el tráfico que generan. Por tanto, se ahorra el gasto en dispositivos de transmisión, ingeniería, construcción.
- 👉 Puede ser útil para zonas poco pobladas como márgenes de carreteras, autovías y vías de ferrocarril.
- 👉 Se permite poner en funcionamiento más BTS cuando los recursos son escasos o hay que usar líneas alquiladas (es mejor compartirlas para ahorrar costes).
- 👉 Se puede combinar con el paso por DXX para separar los timeslots de las estaciones encadenadas.

#### Inconvenientes:

- 👎 Al hacer modificaciones o cambios de topología en un elemento hay que fijarse en si tiene algún otro encadenado y decidir qué hacer con él, lo que complica el proceso al tener que planificar más cambios que si sólo fuese un elemento.
- 👎 En la actualidad las redes llegan a muchos más lugares de la geografía y existen radioenlaces Ethernet y PDH de alta capacidad y enlaces SDH, que permiten en la mayoría de los casos que todos los elementos dispongan de al menos un E1 completo (dedicado) extremo a extremo, aunque pueda suponer un uso menos eficiente de los recursos.
- 👎 Un fallo en la BTS cabecera de cadena puede afectar en las que tenga encadenadas.

#### **6.1.4. Topología atravesando Red MPLS**

Esta topología en BTSs es relativamente reciente, pues sólo ha sido posible configurarse después de la incorporación de MPLS como tecnología en la red troncal de transmisión de acceso.

MPLS se introdujo teniendo en mente en un principio el transporte de tráfico de nodos B, pues los equipos de esta tecnología sustituyeron a los anteriores conmutadores ATM. Una ventaja de los equipos MPLS es que permiten el transporte de todo tipo de tráfico entre ellos, por lo que pueden soportar enlaces ATM e IP de los nodos B, pero también enlaces TDM procedentes de las Estaciones Base 2G. Esto último lo consiguen mediante la creación de pseudowires llamados CESoPSN o simplemente CES, es decir, emulando circuitos E1 a través de los enlaces que los unen para garantizar su QoS.

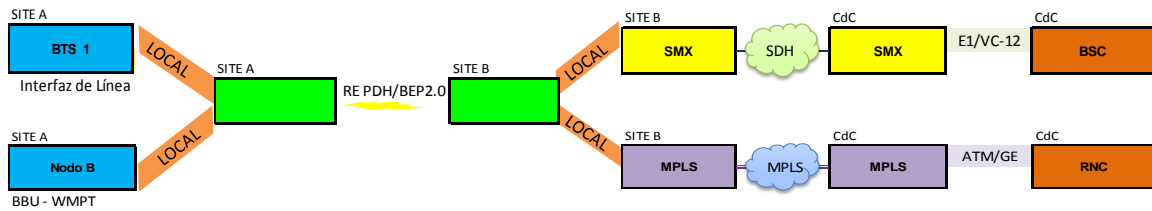
Para permitir emulación de tráfico TDM, que incluye líneas alquiladas, voz y algunos servicios de datos es necesario emular las características de circuito de una red TDM. Para encapsular las señales TDM y crear un Servicio de Circuito Emulado sobre MPLS (CESoMPLS) normalmente se usa una cabecera indicadora de circuito emulado y opcionalmente un mecanismo para llevar la señal de reloj basado en RTP (Real-Time Transport Protocol).

El funcionamiento básico de este servicio consiste en ir empaquetando tramas E1 por orden de llegada en paquetes de cierto tamaño controlando la latencia del proceso de “paquetización”, añadirles una cabecera (compuesta por varios campos) y enviarlos por los LSPs MPLS hasta que el equipo MPLS de egreso desempaqueta las tramas y las entrega de la forma original.

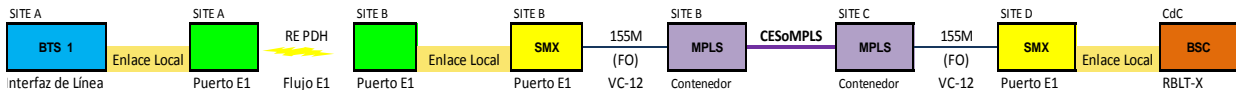
En la definición del PSW3 se puede especificar si se empaqueta el E1 al completo (30 o 31 timeslots), aunque también se permite especificar los timeslots con tráfico para que sólo ellos sean tenidos en cuenta a la hora de crear los paquetes. Esto es útil en los casos en los que los LSPs se crean sobre enlaces de capacidad media o baja, pues se produce un ahorro de ancho de banda al suprimir los timeslots no usados. Por el contrario, cuando se empaqueta la trama completa E1 la capacidad del circuito emulado CES resultante es mayor de 2.048Mbps debido a la agregación de la cabecera. Esto hay que tenerlo en cuenta en aquellos casos en que los enlaces por los que pasa el LSP MPLS que va a llevar el CES no tengan una capacidad muy alta, pues puede interesar

alargar la ruta hasta un SMX y llevarlo a la BSC por la red SDH en lugar de introducir el E1 en la red MPLS.

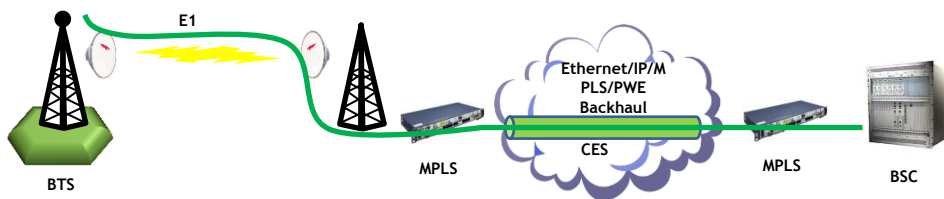
Esto último resulta muy útil para diversificar caminos entre las tecnologías 2G y 3G en entornos donde existe acceso tanto a red MPLS como a la red SDH, como puede ser el caso de núcleos urbanos altamente poblados donde la red desplegada es más compleja y robusta, y donde la densidad de usuarios es muy alta. Así, en aquellos emplazamientos que poseen tanto tecnología 2G como 3G se tratará de separar ambos tipos de tráfico, llevando el 2G por SDH y el 3G por MPLS, y de esta manera evitar una caída completa de servicio en caso de fallo en una de las dos redes.



**Figura 109: Ejemplo: Diversidad de caminos de tráfico 2G y 3G por redes SDH y MPLS, respectivamente, como medida de protección frente a cortes en una de ellas.**



**Figura 110 - Ejemplo: Circuito Lógico de 2Mbps (E1) pasando por red MPLS BTS - Red TDM - Red MPLS (CES) - SDH - CdC (BSC)**



**Figura 111: Transporte de tráfico TDM a través de la red MPLS mediante CES**

El enlace lógico esquematizado en la Figura 110 es una configuración muy habitual donde se pueden encontrar la mayoría de elementos de la red de acceso. El tráfico de la BTS atraviesa un radioenlace PDH y llega a un emplazamiento donde nos interesa introducirlo en la red MPLS. La conexión al equipo MPLS puede realizarse de varias formas: mediante un enlace físico local (E1) entre puertos E1 del RE y dicho equipo, o bien, podemos tratar de hacerlo utilizando jerarquías ópticas: entre el equipo

origen del radioenlace y el equipo MPLS (si ambos disponen de puertos STM-1); o si existe un equipo SDH (SMX) ubicado que disponga de jerarquía STM-1 con el equipo MPLS o con ambos, podemos pasar el E1 a través de ella/s. La primera opción parece más simple, sin embargo, la segunda puede ser igual de simple y además ahorra puertos E1 en los equipos, que son limitados. Tanto los equipos extremos de los RE como los MPLS disponen de tarjetas con un número de puertos E1 bastante inferior al que tiene un SMX, por ello cuando sea posible es recomendable elegir la segunda opción.

El siguiente paso es atravesar la red MPLS mediante el CES creado extremo a extremo. Una vez se extrae el tráfico PDH por el equipo ubicado en el CdC, por el mismo motivo anterior, dicho tráfico puede atravesar de nuevo una o más jerarquías ópticas antes de conectarse a la BSC.

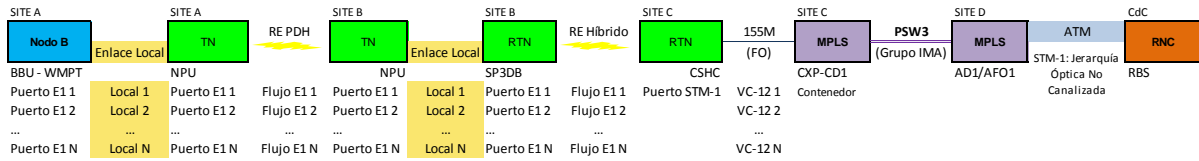
Hasta ahora en todos los ejemplos se ha visto que la interconexión con la BSC se realiza mediante un enlace local físico E1. Cabe mencionar que también existen BSCs “ópticas”, en el sentido de que los circuitos E1 entran a ellas a través de jerarquías ópticas que tienen creadas con algún equipo SMX (VC-12).

## **6.2. Escenarios 3G**

### **6.2.1. Topología Básica de un Nodo B por Red TDM/ATM**

El primer interfaz Iub definido por el 3GPP en el estándar UMTS contemplaba una transmisión mediante tecnología ATM [20]. La forma en la que este requerimiento se materializó fue mediante agrupamiento de enlaces E1 utilizando el protocolo de Multiplexación Inversa de ATM (IMA). Esta técnica permitió a los operadores reutilizar las redes TDM existentes para desplegar la tecnología 3G, pues funciona enviando las celdas ATM generadas por los niveles superiores del nodo B hacia N enlaces E1, de forma secuencial, lo que permite tener una capacidad virtual de aproximadamente  $N \times 2$  Mbps. Las capacidades así conseguidas (hasta 16 Mbps teóricos por nodo B) junto con

la multiplexación estadística de los datos, cubrieron las necesidades iniciales de ancho de banda de los nodos B.



**Figura 112: Ejemplo: Nodo B ATM-only. N circuito Lógicos de 2Mbps (E1) se agrupan a la salida del nodo B mediante un Grupo IMA (Nodo B - Red TDM/Ethernet - Red MPLS (IMA) - ATM - CdC (RNC))**

Nº de E1s	PCR Teórico (Mbps)	PCR Real * (Mbps)
1	2,048	1,859
2	4,096	3,718
3	6,144	5,577
4	8,192	7,436
5	10,24	9,295
6	12,288	11,154
7	14,336	13,013
8	16,384	14,872

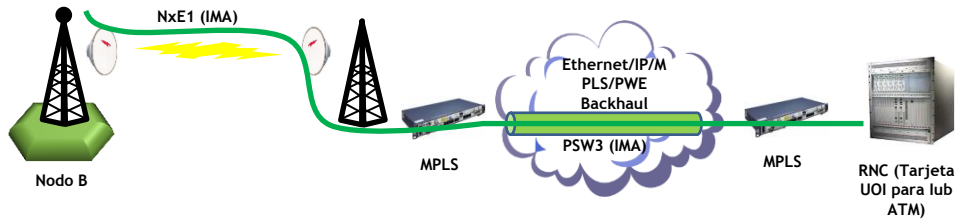
**Tabla 11: PCR o Tasa Pico de Celdas ATM teórica y práctica en función del número de E1s en el nodo B (\*para tráfico HSDPA y R99-NRT (non-real-time), para tráfico R99-RT la PCR es de poco más de 2Mbps en todos los casos)**

El ejemplo mostrado en la Figura 112 es la topología habitual de un nodo B con Iub ATM. Como puede observarse, a lo largo de la ruta se van reservando recursos de N en N, es decir, si el Iub del nodo B tiene N ( $1 \leq N \leq 8$ ) enlaces lógicos E1 entonces se necesitan N flujos E1 en los radioenlaces, N contenedores en las jerarquías, N conexiones físicas entre puertos E1, etc.

En el ejemplo se asume que el radioenlace TN es PDH por lo que no puede plantearse la opción de configurar la ruta como full-IP.

Por lo tanto, el nodo B genera un flujo de celdas ATM a partir de los datos procedentes de los usuarios y los envía hacia los N puertos E1 de salida mediante multiplexación inversa (IMA). Posteriormente los N x enlaces lógicos del nodo B van agrupados desde éste hasta el primer equipo MPLS que se encuentran en la ruta hacia la RNC, donde entran a la nube MPLS. Si el equipo MPLS tiene todos los LSPs

correspondientes configurados, el tráfico del nodo B atravesará la nube a través de un PSWE3 IMA hasta llegar a un equipo MPLS extremo, que deshará el grupo IMA y enviará las tramas ATM por una jerarquía óptica no canalizada (NCOPT) hasta la RNC.



Para configurar un nodo B con Iub ATM se deben especificar determinados parámetros:

Parámetros Nodo B	Parámetros de Configuración del Camino ATM	Parámetros RNC
ID del nodo B: parámetro válido para una RNC para identificar un nodo B controlado por ella	Valores de TRMMAPS, según el valor que tengan indican el tipo de Iub de que se trata y los parámetros de calidad para cada tipo de servicio	Subrack, slot y puerto de entrada a la RNC
Tipo de BBU (3800 o 3900)	Número de E1s asignados al nodo B y que constituyen el grupo IMA	Lista de servicios soportados (HSDPA, R99 NRT, R99RT, ALCAP, IPoA, etc.) con sus correspondientes QoS, PCR
Nombre del nodo B	Si se atraviesa la red MPLS: puertos/VC-12 de entrada al equipo MPLS remoto, puerto y jerarquía óptica de salida del dominio MPLS hacia la RNC, número o puesto de grupo IMA (llamado trunk en MPLS) dentro del LSP entre los equipos MPLS, parámetros de QoS según tipo de servicio, múltiples parámetros necesarios para configurar el servicio PWE3 entre extremos, etc.	Nombre de la RNC origen
Grupo IMA: una misma BBU podría tener hasta 4 grupos IMA, pero casi siempre se define un único grupo		Jerarquía óptica de entrada (no canalizada)
Lista de servicios soportados (HSDPA, R99 NRT, R99RT, ALCAP, IPoA, etc.) con sus correspondientes QoS, PCR (kbps), SCR (kbps), MBS, CDTV (us)		Para cada servicio soportado indicar VPI (Virtual Path Identifier) y VPC (virtual Path Container). Normalmente son diferentes a los valores de VPI y VPC en el nodo B
Para cada servicio soportado indicar VPI (Virtual Path Identifier) y VPC (virtual Path Container)		Dirección IP de la tarjeta de transmisión de la RNC y máscara (IPoA)
Dirección IP local del nodo B y máscara para O&M (IPoA)		

**Tabla 12: Parámetros de configuración del Iub ATM de un nodo B**

En el caso de que el equipo MPLS remoto no disponga de LSPs Ethernet tampoco se podrá definir un interfaz Iub, incluso aunque todos los radioenlaces sean Ethernet, a menos que se haga uso de MLPPP.



## 6.2.2. Topología Full-IP

Desde la Release 5 del 3GPP se permite utilizar tanto ATM como IP en la UTRAN, salvo en el interfaz Uu donde se utiliza WCDMA. Las ventajas que ofrece disponer de un interfaz Iub totalmente basado en IP, o lo que es lo mismo, full-IP, son muy interesantes: mayor ancho de banda (permite velocidades de banda ancha móvil), multiplexación estadística o convergencia de servicios y redes, entre otras.

Por este motivo, desde hace algunos años las operadoras han ido sustituyendo su planta de equipos y radioenlaces PDH y ATM por radioenlaces y equipos Ethernet e IP/MPLS.

Para configurar el interfaz Iub de un nodo B como full-IP, se puede partir de un interfaz puro ATM o mixto ATM/IP, con servicios RT sobre ATM y servicios NRT sobre IP, y es necesario cumplir los siguientes requisitos:

- Los nodos B deben soportar IP y disponer de puertos Ethernet.
- La ruta Nodo B – RNC debe estar basada en IP, y por tanto usar Ethernet como tecnología de transporte (o emularlo sobre SDH / SDH), lo que incluye radioenlaces y LSPs Ethernet entre el equipo MPLS remoto y el que se conecta a la RNC.
- Disponibilidad de una línea de última milla de tipo simétrico (SHDSLbis, nodo MPLS co-emplazado, fibra óptica, radioenlaces Ethernet, etc.).
- El tráfico IP de los nodos B entra en la red troncal de transmisión de acceso MPLS y se extrae en el equipo MPLS correspondiente situado en el CdC, donde se conecta a la RNC mediante un enlace Gigabit Ethernet.

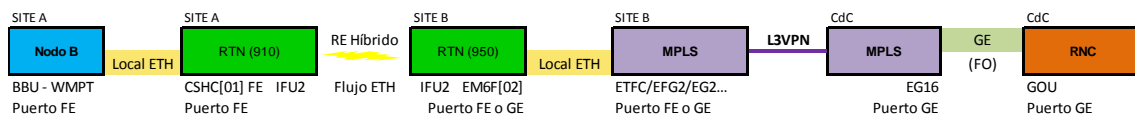
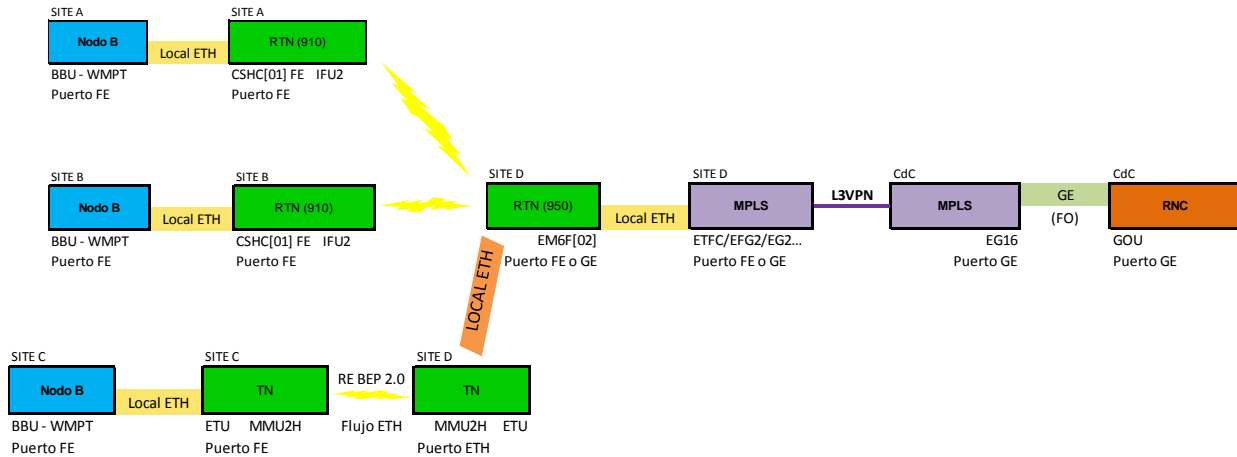


Figura 114: Ejemplo: Nodo B con interfaz Iub Full-IP por ruta IP/Ethernet Nativo.

En el ejemplo de la Figura 114 se muestra un enlace lógico bastante sencillo de un nodo B full-IP, pues tan solo atraviesa un radioenlace antes de entrar en la red

MPLS, desde donde se conecta directamente a la RNC. Es importante saber que la conexión RTN – MPLS, al ser Ethernet, podrá ser compartida por varios nodos que pasen por Site B y se conecten al equipo MPLS a través de ese RTN, pudiendo luego viajar por la nube MPLS siguiendo caminos diferentes hasta llegar a RNCs distintas.



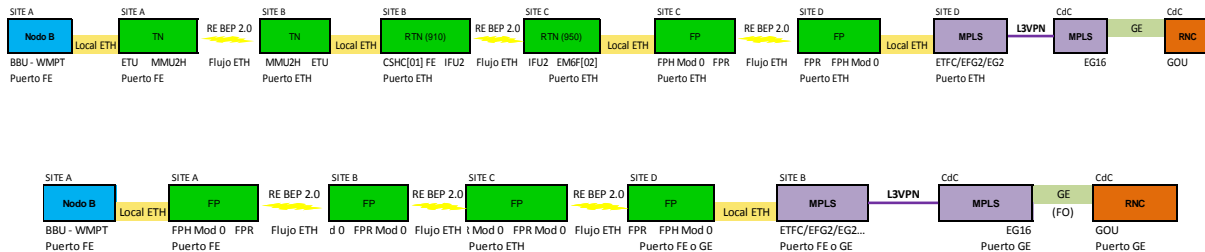
**Figura 115: Ejemplo: Nodos B full-IP que entran a la red MPLS a través del mismo equipo, y compartiendo la conexión FE o GE de entrada al equipo MPLS. Cada uno podría corresponder a una RNC diferente.**

Como se puede observar, la conexión entre el nodo B y el equipo RTN destino del radioenlace se realiza mediante puertos FE (entre la WMPT de la BBU y la tarjeta CSHC del RTN910), por lo que soportan hasta 100Mbps. En enlace lógico atraviesa después un radioenlace híbrido utilizando en este caso el flujo Ethernet del mismo, cuya capacidad será determinante para el ancho de banda final del nodo B. En caso de atravesar una cadena de radioenlaces, aquél de menor capacidad será el limitante para determinar el ancho de banda disponible en el nodo B<sup>22</sup>. Los valores habituales de ancho de banda resultantes en el nodo cuando se emplean radioenlaces Ethernet en el lub son (Mbps): 30, 35, 40, 45, 50, 100.

En el site B los equipos RTN950 y MPLS se pueden interconectar mediante puertos Fast o Gigabit Ethernet (FE o GE), en función de los nodos B que previsiblemente van a compartir ese enlace de entrada a MPLS y de la capacidad que requieren: un enlace GE puede agregar hasta 13 nodos B mientras que uno FE agrega hasta 5 nodos. Esto significa que una misma interconexión Ethernet RTN-MPLS se comparte por enlaces lógicos de varios nodos B de manera simultánea gracias a la

<sup>22</sup> En la configuración full-IP de un nodo B se dispone del mismo ancho de banda para los enlaces downlink y uplink, así como para todos los servicios soportados en el plano de usuario (voz, videollamadas, PS R99, HSPA).

multiplexación estadística, por ejemplo, los que llegan a través de otros radioenlaces con origen en el mismo equipo RTN950. En cualquier caso, de cara a ofrecer banda ancha en cada nodo B (HSPA+, LTE) es conveniente utilizar cuando sea posible en este interfaz puertos GE y no saturarlos.



**Figura 116: Ejemplo: Arriba) Nodo B con interfaz Iub Full-IP por ruta IP/Ethernet Nativo a través de cadena heterogénea de radioenlaces Ethernet. abajo) Interfaz Iub Full-IP por cadena de radioenlaces homogénea.**

En el ejemplo de la Figura 116 se observa un enlace lógico de interfaz Iub que atraviesa tres radioenlaces antes de entrar en la red MPLS. En la parte superior, se observa que cada radioenlace es de un tipo/suministrador diferente, mientras que en la parte inferior todos son equipos del mismo tipo. Se pueden hacer varios comentarios al respecto:

- Los radioenlaces de los distintos fabricantes pueden interoperar sin problemas, gracias a que se adaptan a los estándares.
- Al utilizar una cadena homogénea se ahorran saltos y la topología es más sencilla, pues los equipos actúan como si fuesen una pasarela, sin necesidad de conexiones físicas. En la cadena heterogénea es necesario pasar de un tipo de equipo a otro, lo que requiere una conexión Ethernet entre ambos.
- La gestión de los equipos es algo más compleja al combinar equipos que si todos fuesen del mismo fabricante.

En resumen, no existe ningún problema por combinar equipos de diferente fabricante, pero la topología óptima es crear cadenas uniformes (o todos Huawei, o todos Ericsson, o todos NSN).

Al ser una red basada en IP todos los elementos implicados en la ruta de datos y gestión de los nodos B full-IP deben disponer de las direcciones IP con el fin de que los paquetes se enruten correctamente.

- *Gestión en Full-IP*

El nodo B marca los paquetes de Iub con una VLAN y los de gestión con otra VLAN, de manera que en la red MPLS se crean dos L3VPN: una para tráfico Iub (que va a la RNC) y otra para tráfico de gestión (que va a los gestores de la red corporativa). Hasta el momento los nodos B ATM tenían configurado un canal de gestión que funcionaba sobre un circuito IPoA (IP over ATM) conectado a la RNC. La RNC actuaba de router, reenviando los paquetes IP de gestión al M2000.

En la nueva configuración de OMCH over IP se tiene una comunicación directa con el M2000 desde el NB. Será la red MPLS la encargada de encaminar el tráfico de gestión hacia los puntos de interconexión con la Red Corporativa definidos para que finalmente alcancen el M2000.

- *Sincronismo en Full-IP*

Cuando el transporte de todos los circuitos en un interfaz Iub se realiza mediante tecnología IP se debe considerar que, al eliminar los enlaces ATM, habitualmente E1's, se pierde la fuente de sincronismo del Nodo B.

El Nodo B necesitará por tanto obtener una señal de sincronismo externa por algún otro medio para poder sincronizar su oscilador interno. Huawei proporciona un equipo externo para proporcionar la fuente de reloj a un máximo de 512 Nodos B llamado IPCLK Server. De hecho, se aconseja aplicar redundancia 1+1 mediante el uso de dos servidores por cada 512 nodos B full-IP.

Finalmente, una vez definido el camino full-IP se puede proceder al borrado de los restos de configuración ATM que han quedado tanto en la RNC como en el Nodo B, de manera que los recursos se liberen y queden disponibles para otros usos.

Las direcciones IP y otros parámetros que se deben configurar en el nodo B, la red y la RNC cuando se va a establecer el Iub full-IP son los siguientes:

**Tabla 13: Parámetros de configuración del interfaz Iub Full-IP de un nodo B**

Parámetros Nodo B y generales	Parámetros de Configuración MPLS	Parámetros RNC
ID del nodo B: parámetro válido para una RNC para identificar un nodo B controlado por ella	Nombre del equipo MPLS remoto y tarjeta/puerto por el que entra el enlace lógico del nodo al mismo	Nombre de la RNC origen. Puertos de entrada a la misma en la tarjeta GOU (dos puertos desde dos equipos MPLS para protección)
Tipo de BBU (3800 o 3900) determina tipo de puerto Ethernet (eléctrico/óptico) en el nodo B	Dirección IP y máscara de subred del puerto por el que entra el enlace lógico del nodo B	Lista de servicios soportados (HSDPA, R99, ALCAP, OAM, señalización, sincronismo, CCH, voz, etc.) con sus correspondientes QoS: mapeo entre PHB y DSCP
Nombre identificativo del nodo B	Valor de MTU (Maximum Transfer Unit), que suele ser 1500 bytes, máxima longitud permitida en las tramas Ethernet	Dirección IP y máscara de subred del equipo RNC
Dirección IP de tráfico del nodo B, su IP gateway y la máscara de subred	Equipos MPLS y tarjetas/puertos (Gigabit Eth) de salida hacia la RNC (hay dos para tener protección). Direcciones IP y máscara de subred de dichos puertos.	Dirección IP, gateway y máscara de subred de cada uno de los dos puertos de entrada a la RNC
Dirección IP de gestión del nodo B (física y OMCH), su IP gateway y la máscara de subred.	Tipo de agregación en el puerto de entrada al equipo MPLS, que depende del equipo al que se conecta (BEP 2.0 a través de FE o GE, DSLAM, ADSL, GPON, etc.)	Otros.
Ancho de banda disponible en el nodo B (simétrico)	La primera vez que se establece un Iub full-IP entre dos equipos MPLS se deben configurar los parámetros para crear los servicios VPN de nivel 3 (L3VPN) en los puertos indicados (gestión, tráfico, sincronización): direcciones IP, puertos, longitud de tramas, gestión del QoS o el dominio de servicios diferenciados en los equipos MPLS de ingreso y egreso (mapeo de valores de DSCP IP con valores de per-hop-behavior). Esto implica al equipo MPLS remoto, a los equipos MPLS conectados con la RNC (tráfico) y a los responsables de la gestión.	
Lista de servicios soportados en el plano de usuario (voz, videollamada, señalización, HSPA, R99) con sus correspondientes QoS, DSCP, VLAN. Todos los servicios tienen el mismo ancho de banda e igual ancho de banda indicado para el nodo B		
Valores de TRMMAPS (en full-IP siempre tienen los mismos valores)		
Valor de MTU (Maximum Transfer Unit) soportado, suele ser 1500 bytes, máxima longitud permitida en las tramas Ethernet		
Dirección IP y máscara de subred del M2000 para el canal OAM (plano de gestión) Direcciones IP de las fuentes de sincronismo (servidores CLK)		

### 6.2.3. FTTN (Fiber To The Node)

En grandes núcleos urbanos las operadoras suelen hacer tendidos de fibra óptica propia, ya sea mediante obra civil o alquilando ductos a entidades que ya dispongan de ellos. Estos ductos también suelen estar presentes en núcleos medianos, aledaños a vías de tren, algunos polígonos industriales.

La fibra óptica se puede conectar tanto a equipos MPLS, como a equipos FlexiPacket FTTN de NSN, como directamente a la entrada/salida de tráfico del nodo B.

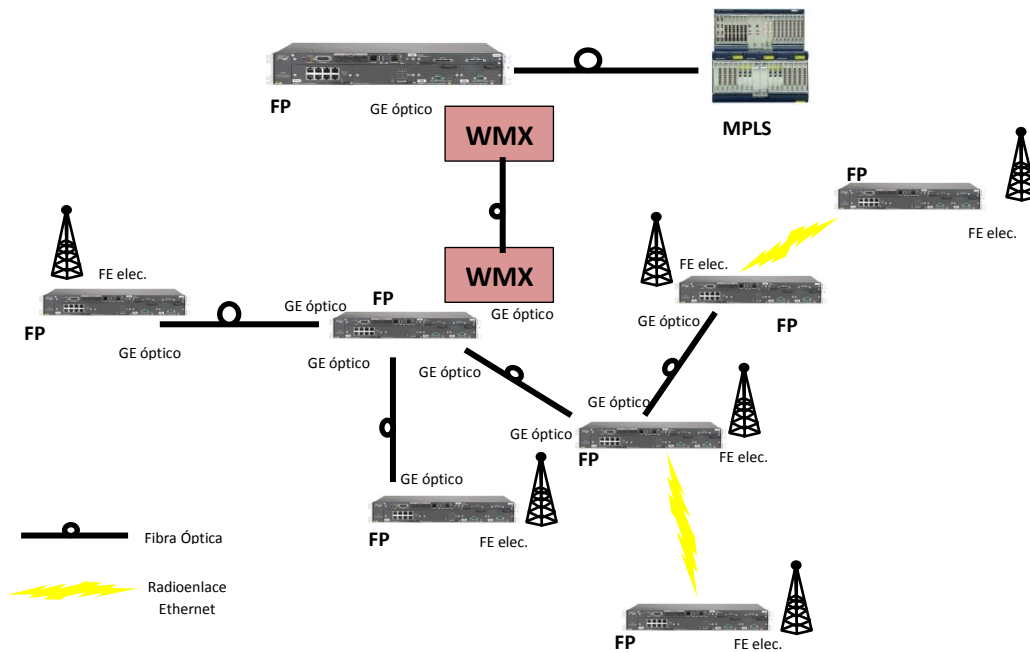
La primera opción resulta muy interesante, pues se provee al principal equipo agregador del emplazamiento de una salida de alta capacidad (1 Gbps o más), de la que se aprovechará tanto el nodo B ubicado (si lo hay) como todos los demás que entren en la red MPLS por dicho equipo.

La segunda opción consiste en conectar la fibra a un tipo especial de FlexiPacket preparado para ello. Esta opción es útil para emplazamientos que concentran múltiples

enlaces lógicos (full-IP) pero sin llegar ser puntos de concentración tan grandes como para merecer la inversión en un equipo MPLS, o simplemente porque ya existe equipo MPLS conectado a la misma fibra en algún emplazamiento cercano.

La tercera opción consiste en conectar directamente la fibra óptica al puerto Fast Ethernet óptico de la BBU3900. De esta manera se aporta al nodo B la totalidad del ancho de banda ofrecido por la fibra óptica. El enlace lógico deberá entrar en algún punto a la red MPLS para ser encaminado a la RNC. La ventaja de esta opción es la alta capacidad ofrecida al nodo, pero lógicamente, esa capacidad no se aprovecha por ningún elemento más (salvo que el nodo tenga a otros encadenados), lo que puede considerarse un inconveniente. Esta opción es útil en emplazamientos que no concentran tantos nodos B como para invertir en equipos MPLS o FP FTTN.

Como puede observarse en el ejemplo de la Figura 117, los equipos FP FTTN se conectan a la fibra óptica mediante puertos GE ópticos, que en concreto para un FP corresponderían a los puertos 1, 2, 3 y 4 del Módulo 0, siempre que éstos estén equipados con módulos SFP.



**Figura 117: Topología de varios nodos B conectados a la red MPLS mediante una red de fibra y equipos FP FTTN. Este escenario podría corresponder a un núcleo urbano.**

#### **6.2.4. Topología Dual-Stack**

Esta topología permite a un nodo disponer simultáneamente de dos caminos Iub: uno ATM y uno IP.

Este escenario se produce habitualmente en nodos B en los que la transmisión propia de la operadora (red de acceso UTRAN) es TDM/ATM y no disponen de un ancho de banda suficiente para soportar nuevos servicios (por ejemplo HSDPA), y sí disponen de acceso a una red de datos (habitualmente denominada Metro Ethernet Network) independiente como puede ser DSL. Esta red de datos normalmente la provee otra operadora o compañía a la que se alquila determinado ancho de banda a través de su red hasta entregar el tráfico en un punto desde donde sí existe transmisión propia Ethernet.

En estos casos se puede configurar en nodo B y la RNC de forma que una parte del tráfico vaya por el camino ATM, y otra parte por el IP. A veces también pueden utilizarse para llevar por uno de ellos el enlace downlink y por el otro el uplink.

### **6.3. Redes Privadas Virtuales (VPN)**

Las redes privadas virtuales o VPNs, son servicios que las operadoras ofrecen a clientes empresariales y que consisten en contratar cierta capacidad (puede ser PDH o Ethernet) de manera dedicada y exclusiva.

Estas redes de empresa o redes corporativas deben facilitar la comunicación de voz, datos, texto e imagen entre los equipos terminales de la empresa, mediante una infraestructura que puede estar distribuida geográficamente, pero con un control integral. Esto no se podría conseguir a través de aproximaciones como pueden ser una red LAN o una única red SNA, pues el ancho de banda no sería suficiente y la estructura de estas redes no es la adecuada. Aparece entonces un elemento esencial que es la PABX (Private Automatic Branch Exchange) o centralita, que facilita la comunicación de voz entre los distintos usuarios. A través de la PABX o de la ISPBX (Integrated Service Private Branch Exchange), las empresas consiguen conectar sus equipos entre sí

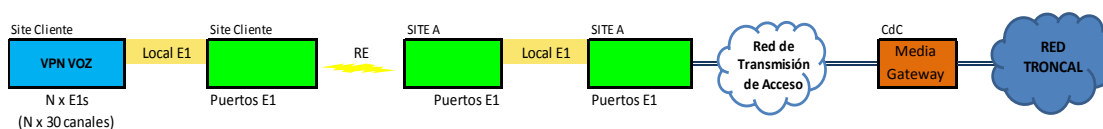
mediante acceso básico (64Kbps o un canal) o mediante acceso primario (2Mbps o 30 canales), respectivamente. Actualmente también se puede proporcionar servicio de VPN a las empresas mediante interfaz Ethernet (2Mbps, 4Mbps, 8Mbps, 10Mbps, hasta 100Mbps), siempre que las características de la red a la que se conecta lo permitan.

El proceso de creación de una VPN comienza por un estudio de viabilidad teórica de los emplazamientos propiedad de la operadora próximos a la ubicación de la empresa que dispongan de recursos disponibles para hacer frente a la demanda del cliente. Una vez obtenida la lista de puntos potencialmente viables, se realiza una viabilidad práctica para ver si existe visibilidad directa (LOS) entre ellos y la empresa, ya que la opción más rápida de despliegue consiste en un radioenlace. Una vez decidido el emplazamiento al que se enlazará la VPN, se diseña el radioenlace (Ethernet o PDH según se solicite un servicio u otro), se instala y se define el enlace o enlaces lógicos a través de la red de transporte hasta un Centro de Conmutación (Media Gateways o el punto indicado de acceso a la red troncal).

Las demandas de los usuarios empresariales son:

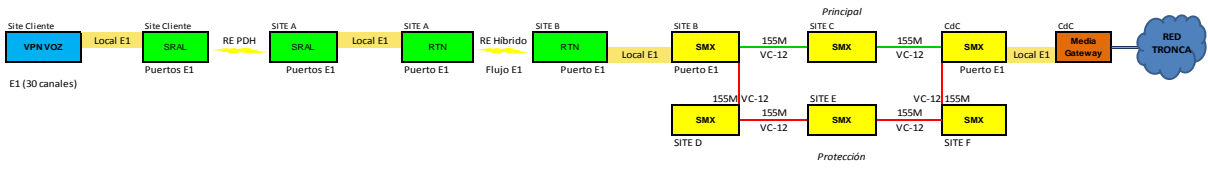
- N x E1s para transportar canales de voz.
- X Mbps para transportar datos Ethernet o PDH, donde X suele encontrarse en el rango desde 2 Mbps hasta 100Mbps.
- VPN mixta de datos y voz.

*VPN de VOZ:*



**Figura 118: Ejemplo: Red Privada Virtual de Voz. Los E1s se entregan a la red troncal en equipos tipo Gateway. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) puede ser tanto PDH como Ethernet en modo transporte de E1s (TN, RTN, FP).**

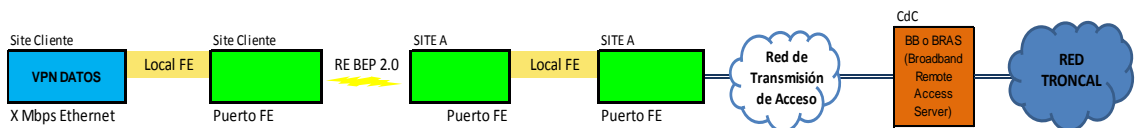




**Figura 119: Ejemplo: VPN de voz (1\*E1 o 30 canales) con protección en la red SDH, aprovechando su topología en anillo.**

Una vez enlazada la empresa a la red de la operadora, la VPN de voz puede atravesar varios radioenlaces, y definirse a través de la red SDH o la MPLS (utilizando CES).

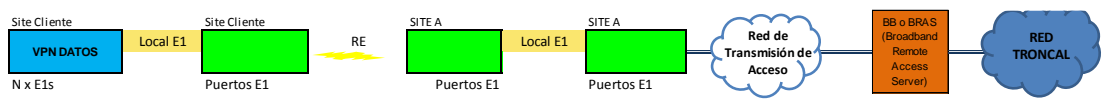
*VPN de DATOS Ethernet*



**Figura 120: Ejemplo: Red Privada Virtual de Datos Ethernet. Entrega a la red troncal en punto de acceso a Broadband. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) debe ser Ethernet con capacidad requerida por el cliente (TN, RTN, FP).**

Una vez enlazada la empresa a la red de la operadora, la VPN de datos puede atravesar varios radioenlaces Ethernet, y definirse a través de la red troncal de transmisión de acceso MPLS creando una E-Line<sup>23</sup> entre el equipo MPLS remoto y el equipo MPLS que entrega el enlace al equipo de interconexión con Broadband. Para crear la E-Line hay que indicar los puertos de entrada y salida de la red MPLS, la velocidad o ancho de banda que se utiliza, tipo de QoS y VLAN ID.

*VPN de DATOS PDH*



**Figura 121: Ejemplo: Red Privada Virtual de Datos PDH. Entrega a la red troncal en punto de acceso a Broadband. El radioenlace entre Site Cliente y Site A (propiedad de la operadora) puede ser PDH o Ethernet con definición de circuitos CES (TN, RTN, FP).**

<sup>23</sup> Ethernet Virtual Private Line: Servicio de datos definido por Metro Ethernet Forum que provee una conexión Ethernet punto a punto entre un par de interfaces UNI (User-Network) a través de una WAN.

Una vez enlazada la empresa a la red de la operadora, la VPN de datos puede atravesar varios radioenlaces, y definirse a través de la red troncal SDH o la MPLS utilizando CES, hasta llegar a la red troncal o Broadband.

#### 6.4. Escenario Mixto 2G y 3G

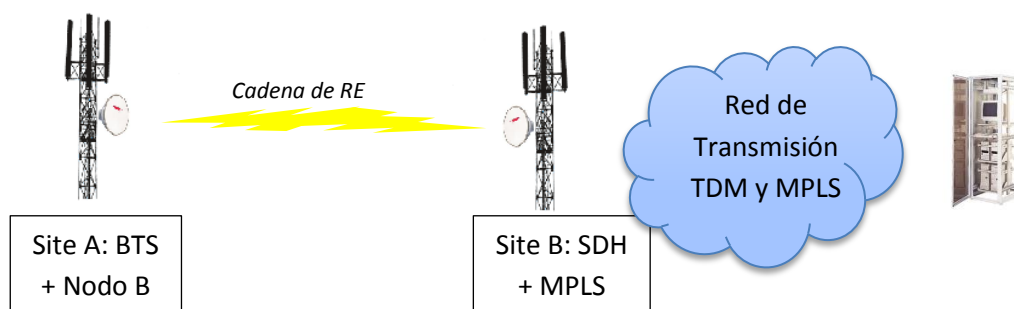


Figura 122: Site con 2G y 3G con salida por radioenlace y posterior paso por la red troncal de acceso, hasta llegar a BSC/RNC

Partimos de un escenario compuesto por:

- a) Un emplazamiento (Site A) formado por una torre con equipos radiantes 2G y 3G, es decir, una Estación Base (BTS) y un Nodo B.
- b) Un emplazamiento (Site B) donde existen puntos de acceso a las redes troncales MPLS y SDH.
- c) Una cadena de uno o varios radioenlaces PDH.

Se va a estudiar esta configuración para ver sus características y sus limitaciones, con el fin de comprobar la necesaria evolución a Ethernet de los elementos presentes.

La Estación Base 2G puede tener asignadas capacidades:

- Varios slots individuales dentro de la trama E1

- Hasta un E1 completo para GSM y otro E1 para DCS

Gracias a la gestión remota que permiten los nodos B se pueden obtener estadísticas de tráfico cursado en los mismos, tanto en media como por horas. Estas estadísticas se presentan en el Gestor correspondiente, de manera que lo habitual es hacer el análisis de los datos y elaborar informes periódicos para conocer el uso que se está haciendo de los recursos disponibles (ancho de banda) y, si procede, tomar acciones correctoras para mejorar la eficiencia en el uso de los mismos y mejorar el servicio que se está dando a los clientes.

La capacidad de salida de cada nodo B o capacidad del interfaz Iub, se dimensiona en función de la demanda de tráfico que se espera que tenga, de manera que cubra las necesidades incluso en las horas pico. Sin embargo, puede ocurrir que la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios sea mayor que la capacidad de salida disponible en el nodo B. Esto puede deberse a que el crecimiento del número de usuarios a los que da cobertura ese nodo, sumado a que cada usuario genera cada vez más tráfico gracias a los nuevos dispositivos y aplicaciones que ofrece el mercado, haya hecho que el ancho de banda que en su día era más que suficiente para cubrir la demanda, ahora ya no cumpla los requerimientos. O bien, puede ocurrir que por algún evento o circunstancia especial se haya producido una mayor concentración de usuarios en el área de cobertura del nodo (concierto, partido de fútbol, fiestas de una localidad, etc.) y que eso haya llevado al nodo B a aparecer en el informe de nodos B que incumplen sus necesidades de Iub. Respecto a esto último, queda en evidencia que la previsión juega un papel fundamental, pues si se conoce de antemano la existencia de estos eventos, se podrán tomar con antelación las medidas necesarias para que durante los mismos, las necesidades de los clientes queden satisfechas en el mayor grado posible.

Para entender hasta qué punto es necesario que la red evolucione, se analizará el siguiente ejemplo sencillo:

Se dispone de un emplazamiento (o site) A, formado por un nodo B 3G y una Estación Base (BTS) 2G, que da cobertura de comunicaciones móviles a una población. El tráfico generado por los usuarios se dirige hacia el centro de conmutación (CdC) por una ruta de elementos TDM y en el Site B se introduce en la red troncal de acceso (SDH y MPLS). Imagínese que la BTS tiene asignada una salida de un E1 de tráfico a través

del radioenlace, que el nodo B tiene un Iub de 2xE1s, y que por tanto el ancho de banda total por el radioenlace es de 3xE1s, es decir, 6 Mbps. Sin embargo, observando las estadísticas de ocupación del interfaz Iub de este nodo durante la última semana, se observa que durante algunas horas de cada día se está usando la totalidad del ancho de banda disponible (los 6 Mbps). Esto es un indicio de que parte del tráfico puede no estar siendo cursado por falta de ancho de banda y, por tanto, hay usuarios que pueden estar experimentando problemas en el servicio que reciben. ¿Qué se hace?

Ante esta situación, y si se quiere dar un alto nivel de experiencia de usuario, se debe tratar de asignar más recursos al nodo B, lo que va a depender de varios factores:

- a) Número de puertos E1 disponibles en el nodo B.

Si se utilizan nodos B de Huawei, éstos pueden soportar hasta 8 puertos E1, por lo que su Iub puede tener como máximo una capacidad de 16 Mbps:

- Hasta 4xE1s (8Mbps) con BBU3900

- Hasta 8xE1s (16Mbps) con BBU3800 o bien con BBU3900 + tarjeta UTRP3

El nodo del ejemplo ya tiene 2 puertos usados con lo que, dependiendo de cómo esté equipado, nos permitiría incrementar el Iub hasta 8 o 16 Mbps.

- b) Capacidad del radioenlace PDH

Los radioenlaces PDH que se utilizan normalmente en la red de acceso suelen tener capacidades 2x2, 4x2, 8x2, 16x2, 32x2, en función de su posición (última milla, radioenlace intermedio). Es decir, el rango de capacidades PDH va desde 4Mbps (2 flujos E1) hasta 64Mbps (32 flujos E1).

En este escenario queda en evidencia uno de los grandes inconvenientes de usar PDH en la transmisión de los datos: la asignación de recursos a cada elemento es estática, es decir, si un nodo B "X" con "x" E1's asociados no está utilizando el 100% de los mismos, y existe otro nodo B "Y" con "y" E1's, compartiendo ruta con "X" e incumpliendo su demanda de capacidad, "Y" no puede aprovechar la capacidad que "X" no está usando en ese momento. Por lo tanto, si el radioenlace de salida del emplazamiento o algún otro de la ruta hacia el centro de conmutación

tienen sus E1s ya ocupados, no se podrá ampliar el Iub del nodo B. Se puede tratar de ampliar también la capacidad del radioenlace que está completo, lo que depende de varios factores, como que el hardware/software de ese radioenlace en concreto lo permita, o que la carga del espectro radioeléctrico en la zona pueda soportar una ampliación del canal de operación del radioenlace (cambio a modulación más alta) sin incurrir en interferencias con otros radioenlaces cercanos.

c) Puertos libres en los dispositivos de la ruta de datos

A la hora de ampliar la capacidad Iub de un nodo B también hay que comprobar que haya puertos libres disponibles en los equipos que atraviesa la ruta de datos (enlace lógico) del nodo B en cuestión hasta llegar a la RNC. Si se quisiera, por ejemplo, ampliar el Iub de un nodo en dos E1's, tendríamos que comprobar que en cada equipo de la ruta existen al menos dos puertos E1 libres. En caso afirmativo, se diseñan los nuevos E1's y se establece la ruta sin problemas; si no hay puertos libres hay que valorar otras opciones: ¿se puede ampliar el hardware de los mismos (añadiendo tarjeta/s con puertos adicionales)? ¿Está previsto llegar al nodo B con tecnología IP próximamente y por tanto merece la pena esperar?

Como puede comprobarse en estos tres puntos, cada vez que el Iub de un nodo B requiere mayor ancho de banda existen varios factores limitantes que delatan las desventajas de utilizar TDM como método de transporte: recursos dedicados en lugar de compartidos, limitación de ancho de banda a 8xE1s por nodo B, límite de ancho de banda en radioenlaces y necesidad de numerosos puertos y conexiones locales en los equipos PDH de cada emplazamiento.

La falta de capacidad en los radioenlaces de la ruta se puede solventar con la sustitución del mismo por un radioenlace Ethernet (con la misma modulación ofrecen mucho mayor ancho de banda), aunque se siga utilizando E1s a través del mismo. En cuanto a los problemas de escasez de puertos y necesidad de más de 8xE1s por nodo B, se solventan en cuanto éste dispone de una ruta completa de elementos Ethernet hasta la RNC (full-IP, teniendo en cuenta la red troncal MPLS), pues un único puerto Ethernet en todos ellos puede soportar múltiples interfaces Iub de nodos B diferentes.

El interfaz Abis de la Estación Base 2G deberá migrarse a la cadena de radioenlaces Ethernet manteniendo la transmisión TDM (nativa o emulada). Sin embargo, se puede elegir entre introducirlo en la red troncal SDH (VC-12) o en la red troncal MPLS (CESoMPLS) para dirigirlo hacia la BSC.

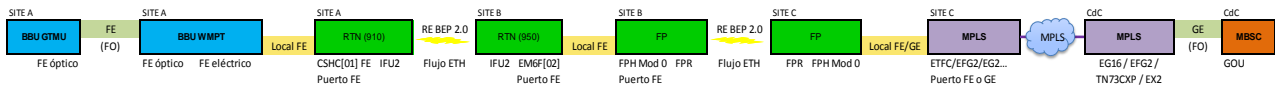
**Tabla 14: Comparativa de prestaciones de la red TDM y la red basada en IP**

	Red TDM	Red Ethernet/IP/MPLS
Máximo BW de lub por Nodo B	16Mbps (8xE1s)	100Mbps (Fast Ethernet)
Máximo BW de radioenlaces	64Mbps	180-200Mbps
Modulación Adaptativa en RE	No	Sí
Uso de recursos	Dedicados	Compartidos
Conmutación	De circuitos	De paquetes
Orientación y fiabilidad	Orientado a conexión (voz), conexiones muy fiables	No orientado a conexión (datos), se incorporan mecanismos de QoS para garantizar integridad de tráfico sensible al retardo
Transporte 2G	TDM (E1)	IP (pasando por TDMoIP al principio)
Transporte 3G	ATM/TDM (IMA)	IP (pasando por PWE3/MPLS al principio)
Soporte de 4G	No	Sí
Asignación de recursos	Estática	Flexible, dinámica
Ubicuidad de servicios (convergencia de redes fijas/móviles)	No	Sí
Estándar universal	No (SDH/SONET, PDH E1/T1)	Sí
Costes	Mayor coste por bit	Menor coste por bit y de los equipos (economía de escala)
Tarificación	Por tiempo (minuto)	Por datos transferidos (Mbps, Gbps)
Servicios de valor añadido	No	Sí

## 6.5. Escenarios All-IP

En una configuración all-IP todo el tráfico, de cualquier naturaleza, se transporta mediante IP. Esto incluye tráfico 2G y 3G, voz, videollamadas, servicios multimedia, acceso a internet, etc.

Este es el escenario objetivo de la evolución/migración que se está realizando en las redes de comunicaciones móviles, y es al que se llegará como paso previo a la entrada en funcionamiento de las tecnologías 4G.



**Figura 123: Ejemplo: Topología de un enlace lógico All-IP**

Como puede observarse en la Figura 123, el esquema típico de un enlace lógico All-IP es muy sencillo. El tráfico 2G y 3G de cada emplazamiento viaja de manera conjunta por los mismos enlaces, tantos como sean necesarios, hasta entrar a la red MPLS. Una vez entran, los paquetes 2G y 3G pueden acabar en una misma Multimode BSC o en MBSCs diferentes.

## CONCLUSIONES

La tradicional red TDM que se desplegó en los años 90 para dar servicios 2G ha sido capaz de absorber durante un tiempo la demanda de tráfico 3G, permitiendo pequeños incrementos de capacidad a base de enlaces E1 PDH. Sin embargo, el crecimiento exponencial de la demanda de tráfico de datos en movilidad que se está produciendo en los últimos años y la perspectiva de que esa tendencia continúe en el futuro, han demostrado que la red TDM no es la adecuada para soportar esa demanda ni el tipo de tráfico a ráfagas típico de las transmisiones de datos. Esto, unido al hecho de que los ingresos que perciben los operadores no crecen al mismo ritmo, ha provocado la búsqueda de nuevas soluciones de red por parte de éstos, más eficientes y de menor coste.

De igual forma que los estándares para el interfaz radio entre los dispositivos de usuario y las estaciones base van evolucionando para soportar mayores anchos de banda y nuevos servicios (GPRS, EDGE, UMTS, HSxPA, HSPA+, LTE), también es necesario actualizar la red de transmisión de acceso que les da soporte y que constituye los interfaces Abis (GSM) e Iub (3G). Las tecnologías escogidas para llevar a cabo esa actualización o evolución han sido las basadas en conmutación de paquetes, como ATM al principio, o las relacionadas con la pila de protocolos de IP, que han sido las elegidas finalmente. En cuanto a la tecnología de transporte, se ha tomado Ethernet como la óptima por su eficiencia, flexibilidad, alta capacidad, bajo coste, y por ser un estándar universal.

Para la parte troncal de la red de acceso o backhaul se ha elegido MPLS, por su compatibilidad con IP, su capacidad de transporte multiprotocolo (soporte de servicios legacy e IP), la incorporación de ingeniería de tráfico, su flexibilidad a la hora de enviar paquetes de distintos tamaños, la provisión de QoS, la capacidad de combinar la rapidez de conmutación de capa 2 con la inteligencia de encaminamiento IP, así como la capacidad de definir servicios Carrier Ethernet, entre otras múltiples e interesantes propiedades.

Por otra parte, las futuras tecnologías de Cuarta Generación como LTE, se han definido ya mediante infraestructuras totalmente basadas en paquetes e IP. De esta



manera, al realizar la evolución de la red que da soporte a los estándares actuales hacia una configuración all-IP, los operadores pueden comenzar a ofrecer servicios de valor añadido mediante HSPA o HSPA+, a la vez que se aseguran de disponer en el futuro de una red preparada para la implantación de LTE.

Para llevar a cabo la evolución hacia all-IP se va a utilizar Ethernet y servicios Carrier Ethernet como tecnologías de transporte de capa 2. Se van a utilizar principalmente radioenlaces Ethernet en la parte de acceso más próxima a las estaciones o tramos última milla, y en la parte troncal o red de agregación se van a desplegar equipos MPLS (interconectados también mediante Ethernet), que se encargarán de agregar mediante multiplexación estadística y transportar usando pseudowires los diferentes tipos de tráfico posibles en la red, encaminando cada tipo hasta sus controladoras, y aportando además diferentes niveles de QoS.

Dados los niveles de inversión de recursos económicos y humanos que supone el despliegue y mantenimiento de una red extensa, el proceso de migración tiene que hacerse de forma gradual y progresiva, optimizando el uso que se hace de los equipos y espectro ya disponibles. Como dato orientativo se podría decir que realizar esta transformación, en redes del tamaño de España, podría costar a una operadora varios años (2-4 años) y varios miles de millones de euros. En lo que se refiere a recursos humanos, será necesario el trabajo de numerosos ingenieros de transmisión, técnicos de O&M, instaladores, implantadores, técnicos de subcontratas, así como personal encargado de elaborar presupuestos, informes de gastos, estadísticas, etc.

Con estos datos en mente, se ha considerado como estrategia óptima a seguir en la migración a IP la siguiente:

- 1) En primer lugar se desplegará una red troncal o backhaul MPLS para reemplazar a la infraestructura ATM (si la hay, porque ya se haya implantado 3G mediante esta tecnología). El tráfico de los nodos B ATM debe migrarse en ese momento hacia la nueva red MPLS, lo que se hará mediante pseudowires (PWE3) de nivel 2. Esta técnica de emulación realiza el mapeo entre VCCs ATM y los paquetes del PW a razón de N:1, independientemente de la tecnología de transporte subyacente (que serán circuitos MLPPP y POS en un principio, Ethernet después). De esta manera, las celdas ATM atraviesan la red MPLS de forma transparente hasta llegar al extremo que está conectado a la RNC, donde se

desencapsula el tráfico ATM y accede directamente a ella a través de una jerarquía SDH STM-1 no canalizada.

- 2) Durante el proceso de migración, las estaciones GSM TDM pueden introducirse en la red MPLS (que atravesarán de forma transparente mediante pseudowires llamados CES) o bien pueden conservar sus rutas a través de la red SDH hasta llegar a las BSCs.
- 3) El siguiente paso consiste en comenzar el despliegue de la tecnología Ethernet en la red, sustituyendo a PDH. Como criterio de partida para el despliegue, puede empezarse por sustituir los enlaces entre equipos MPLS que agregan el tráfico de muchos nodos B hacia los centros de conmutación y los enlaces de salida de los emplazamientos críticos, pues son los que más carga de tráfico soportan y por tanto en los que conviene disponer de la alta capacidad (100-1000Mbps) y de la ganancia por multiplexación estadística de Ethernet lo antes posible. Progresivamente se continúa con la sustitución por radioenlaces Ethernet de aquellos radioenlaces PDH que tienen su capacidad usada al 100% e impiden que pueda ampliarse el Iub de algún nodo B que lo requiere, tratando de reemplazar simultáneamente cadenas de radioenlaces completas para aprovechar y configurar los nodos B como full-IP. Los radioenlaces de nuevo despliegue también serán Ethernet.
- 4) A la hora de diseñar radioenlaces Ethernet se les asigna un canal de un cierto ancho de banda, que determina la capacidad de los mismos. Hay que tener en cuenta que el espectro disponible es limitado y por ello debe hacerse un uso eficiente: los enlaces que unen equipos MPLS entre sí y, en general, los que llevan gran cantidad de tráfico tienen prioridad a la hora de asignarles los canales de mayor ancho de banda (28 o 56MHz), mientras el resto de enlaces hasta llegar a la última milla dispondrán de canales habitualmente menores, dependiendo de la carga del espectro en la zona, para evitar interferencias con enlaces cercanos.
- 5) Cuando sea viable se tratará de llegar con fibra óptica (propia o alquilada) a los equipos MPLS concentradores (emplazamientos donde llega mucho tráfico que entra a la red MPLS) y a equipos que permitan fibra al nodo (FTTN). Esto es sobre todo habitual en ciudades y núcleos urbanos que disponen de fibra óptica

instalada en múltiples puntos, así como en algunos *sites* cercanos a vías de tren. También pueden contratarse líneas alquiladas a otros operadores donde no pueda llegarse con transmisión propia, tanto PDH como Ethernet, así como utilizar accesos a xDSL alquilados.

- 6) Los nodos full-IP una vez configurados disponen de la misma capacidad en downlink y uplink, siendo ésta mayor que la obtenida mediante tráfico ATM/TDM: máximo 8xE1s o 16Mbps en ATM, y hasta 100Mbps en IP. Además, sus enlaces lógicos se basan completamente en conmutación de paquetes. El objetivo final es que todos los nodos B dispongan de una ruta full-IP, por una parte, y por otra que el tráfico 2G se integre en el mismo flujo Ethernet que el 3G (cotransmisión). Al final de este proceso debe obtenerse una red completamente basada en enrutado/conmutación de paquetes IP, con enlaces de alta capacidad para soportar estándares de banda ancha móvil, y capaz de proporcionar QoS.
- 7) Para facilitar la tarea de Operación y Mantenimiento (O&M) de la red, se ha provisto a todos los equipos Ethernet de gestión basada en IP. Los equipos responden a comandos tipo *Ping* y *TraceRoute*, y se pueden controlar/configurar remotamente bien desde Gestores propietarios en el caso de equipos de ciertos suministradores, o bien directamente desde el navegador de un PC con acceso a la intranet de la operadora en otros casos. Una ventaja añadida es que los equipos Ethernet envían estadísticas de ocupación de sus interfaces, de manera que puede realizarse un seguimiento de la carga de tráfico en los mismos, lo que permite anticiparse a saturaciones de los mismos tomando medidas correctoras.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Historia de las Telecomunicaciones,» Universitat de València.
- [2] «Sistemas celulares de Tercera Generación,» : <http://www.monografias.com/trabajos15/telefoniacelular/telefoniacelular.shtml#SEG>. [Último acceso: Marzo 2013].
- [3] «GSMA,» : <http://www.gsma.com/>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [4] «Sistema global para las comunicaciones móviles - Wikipedia,» : <http://es.wikipedia.org/wiki/GSM>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [5] «JMR Trade - Catálogo de RBS Ericsson,» : <http://jmrtrade.com/2011/05/ericsson-rbs-2101-900-1800mhz/>.
- [6] Ericsson, «GSM Network Solutions for new-growth markets,» : [http://www.ericsson.com/rw/res/thecompany/docs/publications/ericsson\\_review/2004/2004011.pdf](http://www.ericsson.com/rw/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2004/2004011.pdf).
- [7] Ericsson, «BSS Integration,» : <http://cosconor.fr/GSM/Divers/Equipment/Ericsson/Bss%20integration.pdf>. [Último acceso: Marzo 2013].
- [8] «CISCO - Sala de Prensa,» : <http://www.cisco.com/web/ES/about/press/2011/11-02-01-vni-trafico-global-datos-moviles-se-multiplicara-por-26.html>. [Último acceso: 2011].
- [9] «Gartner (Consultora en TIC),» : <http://www.gartner.com/newsroom/id/2335616>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [10] «ITU - Standardization of IMT-2000 and Systems Beyond,» : [http://www.itu.int/ITU-T/worksem/asna/presentations/Session\\_6/asna\\_0604\\_s6\\_p2\\_jc.pdf](http://www.itu.int/ITU-T/worksem/asna/presentations/Session_6/asna_0604_s6_p2_jc.pdf). [Último acceso: Enero 2013].
- [11] «Wikitel,» : <http://wikitel.info/wiki/UMTS>. [Último acceso: Marzo 2013].
- [12] «UMTS Forum - Noticias,» : [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_noticias.asp?u\\_action=display&u\\_log=1135](http://www.umtsforum.net/mostrar_noticias.asp?u_action=display&u_log=1135). [Último acceso: Febrero 2013].
- [13] «BANDAANCHA.ST,» : <http://wiki.bandaancha.st/HSPA>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [14] «3GPP - Especificación 23.925 (UMTS Core Network based on ATM Transport),» : <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23925.htm>.
- [15] L. Huawei Technologies Co., «2.5G to 3G Migration - Critical Success Factors,» <http://www.docstoc.com/docs/102996195/mohab-ramses-huawei-atif06>.
- [16] «Huawei Technologies Co., LTD,» [http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw\\_093570.pdf](http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093570.pdf).

- [17] Ericsson, «Mini-Link TN R4,»  
<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=28701-EN/LZT1105159&Lang=EN&HighestFree=Y>.
- [18] Ericsson, «Mini-Link TN Products,»: <http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/mini-link-tn>.
- [19] N. S. Networks, «Flexi Packet Microwave Radio,» :  
<http://www.nokiasiemensnetworks.com/portfolio/products/transport-networks/microwave-transport/flexipacket-microwave>.
- [20] «3GPP - UMTS Core network based ATM transport,»: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23925.htm>.
- [21] «GSMA Mobile Economy 2013,»: <http://www.gsma.com/>. [Último acceso: 2013 Abril ].
- [22] «Internet World Stats,» : <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. [Último acceso: Marzo 2013].
- [23] «Mobile Backhaul» : <http://metroethernetforum.org/>.
- [24] Metro Ethernet Forum, «Circuit Emulation Services» : <http://metroethernetforum.org/>.
- [25] Huawei, «Huawei MPLS Equipment Product Description».
- [26] ITU-T, «Next Generation Networks Global Standards Initiative» : <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/ngn/Pages/definition.aspx>.
- [27] Monografías, «Telefonía Celular 4G»: <http://www.monografias.com/trabajos93/telefonía-celular-4g/telefonía-celular-4g.shtml>.
- [28] TyN Magazine, «Maximizar las ventajas de LTE mediante la utilización de soluciones backhaul true Carrier Ethernet» : <http://www.tynmagazine.com/>.
- [29] “Comunicaciones de voz y datos”, José Manuel Huidobro. Ed. Paraninfo.
- [30] “Redes Ópticas”, José Capmany Francoy y Beatriz Ortega Tamarit. Ed. UPV.
- [31] Catálogos de equipos Huawei, Nokia Siemens Networks, Ericsson.
- [32] “TDM Circuits over MPLS Using Raw Encapsulation-Implementation Agreement”, MFA Technical Committee, November 2004.
- [33] Transparencias de “Sistemas de Comunicaciones Móviles”, N. Cardona
- [34] Catálogo Siemens SRAL XD:  
[https://www.cee.siemens.com/web/slovakia/sk/corporate/portal/press/k2com/Documents/sral\\_xd\\_1292918.pdf](https://www.cee.siemens.com/web/slovakia/sk/corporate/portal/press/k2com/Documents/sral_xd_1292918.pdf)

Otras fuentes: Diversa documentación, especificaciones y recomendaciones de IEEE, 3GPP, ATM Forum, Metro Ethernet Forum.

