

**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**



PROPUESTA PARA LA EVOLUCION DE LOS SERVICIOS MOVILES EN CUBA

Tesis presentada en opción al título académico de Master en Telemática

**Autor: Ing. Frank Zurbano Quintana
Dirección de Servicios Móviles.
ETECSA .Villa Clara**

**Tutor: Dr. Félix Álvarez Paliza
Facultad de Ingeniería Eléctrica UCLV**

**Santa Clara, Cuba
2011**

***A mi esposa, que con su, apoyo, paciencia y amor
hizo posible este trabajo.***

RESUMEN

La rápida evolución en el mercado de las telecomunicaciones, implica que los operadores de sistemas móviles enfrenten un significativo incremento en las demandas de ancho de banda debido a la proliferación de servicios de datos basados en 3G y el surgimiento de mejoras en la interfase de aire tales como, el Acceso de Paquetes de Alta Velocidad (HSPA). Al mismo tiempo, los operadores de redes móviles requieren de una reducción significativa los costos de operación para compensar la disminución de los Ingresos Promedio por Usuario (ARPU) y para competir con una multitud de competidores y tecnologías. Los operadores también requieren proteger los servicios principales legados tales como voz, los que aún se tienen en cuenta como parte sustancial de los ingresos. El segmento de red que une los sitios celulares con sus respectivos controladores, denominado Backhaul juega el papel vital en las redes móviles. En esta nueva situación las redes de Backhaul con muchos sitios celulares se han convertido en el "impedimento" principal al ofrecer una capacidad insuficiente para soportar grandes anchos de banda y con un gran costo de mejoramiento. Para resolver este problema, los operadores están migrando desde las redes legadas existentes basadas en ATM y TDM hacia infraestructuras más efectivas en cuanto a costos, convergentes y de múltiples propósitos basadas en Ethernet e IP/MPLS. Este trabajo analiza los desafíos, la problemática mundial, estrategias y soluciones en el proceso de migración, y con los resultados obtenidos y la evaluación del estado actual de las redes de acceso en Cuba, se proponen las posibles soluciones y estrategias para efectuar a llevar a cabo en el país para la evolución de sus redes móviles.

INDICE

CAPITULO 1. TECNOLOGIAS, EVOLUCION Y PROBLEMÁTICA MUNDIAL DE LOS SISTEMAS MÓVILES.....	6
1.1 Tecnologías Móviles Actuales. Generalidades.....	6
1.2 Tecnologías de segunda generación	6
1.2.1 Tecnología PDC.....	6
1.2.2 Tecnología TDMA.....	6
1.2.3 Tecnología GSM.....	7
1.2.4 Tecnología GPRS.....	7
1.2.5 Tecnología cdmaOne.....	8
1.2.6 Tecnología CDMA2000 1X-RTT.....	9
1.2.7 Tecnología EDGE.....	9
1.2.8 Evolución de EDGE.....	10
1.3 Tecnologías de tercera generación.....	10
1.3.1 Tecnologías IMT-2000.....	10
1.3.2 Tecnologías UMTS.....	11
1.3.2.1 Tecnología WCDMA.....	12
1.3.2.2 Tecnología TD-CDMA.....	14
1.3.2.3 Tecnología TD-SCDMA.....	14
1.3.2.4 Tecnologías HSPA.....	15
1.3.2.5 Tecnologías HSPA +.....	16
1.3.3 Tecnologías CDMA 2000.....	17
1.3.3.1 Tecnología 1XEV-DO.....	17
1.3.3.2 Tecnología 1XEV-DV.....	17
1.3.3.3 Tecnología CDMA2000 3X.....	18
1.4 Tecnologías de cuarta generación.....	18
1.4.1 Tecnología LTE.....	18
1.4.2 Tecnología WiMAX Móvil.....	19
1.4.3 Tecnologías IMT-Avanzado.....	19
1.5 Rasgos Comparativos Principales de las Tecnologías Móviles.....	20
1.6 Trayectoria de evolución de las diferentes tecnologías.....	25
1.7 Problemática mundial del proceso de evolución.....	27
1.7.1 Modelo de referencia y definiciones.....	27
1.7.2 Problemática mundial.....	29
1.8 Conclusiones Parciales.....	38

CAPITULO 2. SOLUCIONES TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS DE APLICACIÓN.....	40
2.1 Aspectos generales.....	40
2.2 Las Diferentes Soluciones.....	40
2.2.1 Soluciones IP/MPLS.....	40
2.2.2 Solución Carrier Ethernet.....	44
2.2.3. Solución por Optimización de RAN.....	49
2.2.3.1 Optimización de la Interfase Abis.....	50
2.2.3.2 Convergencia Óptima.....	51
2.2.3.3 Abis sobre IP.....	52
2.2.3.4 Vinculación Virtual.....	53
2.2.3.5 Distintos escenarios de aplicación.....	55
2.2.5 Soluciones por Ran unificada y SDR.....	57
2.2.6 Soluciones por Microondas.....	60
2.2.7 Solución por pares de cobre.....	64
2.2.8 Solución por Satélite.....	66
2.3 Estrategias.....	69
2.4 Conclusiones parciales.....	71
CAPITULO 3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN CUBA.....	73
3.1 Aspectos generales.....	73
3.2 Estado de la RAN en Cuba y Objetivos a cumplir por la solución.....	73
3.2.1 Análisis del Estado de la RAN en Cuba.....	73
3.2.2 Objetivos que debe cumplir la solución.....	74
3.3 Propuesta de Solución.....	75
3.3.1 Solución Ethernet/IP/MPLS.....	75
3.3.1.1 Para el caso Ethernet.....	76
3.3.1.2 Para el caso IP/MPLS.....	79
3.3.2 Solución por Microondas.	80
3.4 Esquemas topológicos.....	83
3.5 Conclusiones Parciales.....	84
CONCLUSIONES.....	85
REFERENCIAS.....	87
GLOSARIO DE SIGLAS Y TÉRMINOS.....	97

Introducción

El creciente desarrollo de los Servicios Móviles en nuestro país y la importancia que estos brindan como medio efectivo de comunicación masiva en constante despliegue, nos hace pensar en soluciones encaminadas a su utilización más eficiente. Por ello, es importante prepararse para enfrentar las futuras evoluciones de los mismos. Por otro lado, la necesidad de un despliegue de las comunicaciones en las áreas rurales, determinada por necesidades económicas y sociales, principalmente aquellas destinadas a la educación y a la medicina a distancia son un hecho y es esta la dirección principal hacia donde se deben dirigir las soluciones en el campo de las comunicaciones. Es un hecho que las tecnologías inalámbricas son las más adecuadas para dar una solución real a estas necesidades y en particular, la tecnología de los servicios móviles juega un papel fundamental.

En Cuba, las redes móviles son del tipo GSM (Global System Mobile) de generación 2.5 con una mejora en la tecnología de transmisión mediante la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) con una aplicación promedio sobre un 75 % de las estaciones. El modo de transmisión de los paquetes de datos a través de este sistema es mediante GPRS. (General Packet Radio Service). El acceso se realiza mediante redes PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) y SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y el transporte mediante redes ópticas territoriales y nacionales SDH. La tecnología instalada en la zona Oriental del país es Huawei, mientras que Ericsson lo es en la Central y Occidental con un despliegue inicial de tecnología ZTE en la zona Central.

En estas condiciones, los sistemas están aptos para brindar algunos servicios y contenido de Internet y multimedia hasta donde la capacidad que brinda la tecnología en uso lo permita; pero no existe una oferta considerable de este servicio ni de aplicaciones de multimedia. Por otro lado, la accesibilidad y el despliegue masivo del servicio Internet esta limitado tanto en contenido como en ancho de banda y como consecuencia de ello la oferta de aplicaciones y servicios multimedia son escasos.

Para dar solución a las demandas de servicios en la educación, en la medicina y en la medida que el despliegue y acceso a Internet se incrementen, por citar las más importantes, con el objetivo de que estos servicios lleguen a todos las localidades del país es necesaria la transmisión, principalmente de contenido de multimedia, lo que requiere de un mayor ancho de banda del que se dispone.

Para la transmisión de este contenido se dispone, fundamentalmente de la infraestructura de los servicios móviles en su variante de terminales fijos, lo que se define como Telefonía Alternativa adicionalmente a las facilidades de servicios de origen en su modalidad móvil.

Estas variantes de los servicios móviles son las que pueden garantizar el acceso a un gran número de comunidades y es la única vía con que se cuenta ya que los sistemas inalámbricos existentes aparte de obsoletos, no tienen capacidad suficiente en cuanto a ancho de banda y razón de transmisión de datos.

Esta problemática sugiere la evolución de los servicios móviles hacia tecnologías con anchos de banda superiores como única solución lo que implica su evolución hacia otras generaciones y tecnologías.

La evolución de los sistemas celulares en uso hacia la 3G (Tercera Generación) como son UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) y hacia 4G (Cuarta Generación) como son LTE (Long Term Evolution) y WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) son una necesidad, fundamentalmente para poder suministrar servicios actualizados a través de estas redes y en particular, multimedia, acceso rápido a Internet y telefonía.

Los servicios móviles de Tercera Generación ya constituyen una realidad. El problema principal en el proceso de evolución de los servicios móviles se presenta en el segmento de la red que contiene los equipos de la Red de Acceso de Radio, RAN (Radio Access Network), las estaciones base y sus respectivos Controladores, lo que se denomina técnicamente como Backhaul. Es aquí donde los operadores necesitan reducir los costos de operación para compensar el Ingreso Promedio por Usuario (ARPU) ya que a pesar de que las nuevas generaciones de servicios están diseñadas para generar ingresos adicionales a los tradicionales de voz, estas necesitan de un incremento sustancial del ancho de banda, lo que se traduce en costos. Los costos de operación en el Backhaul se estiman en el orden del 30% de los costos totales de operación del operador OPEX. [1]

Por tanto, la expansión de la red de servicios móviles con el objetivo de cumplir los nuevos requerimientos de ancho de banda en la forma tradicional, representara un incremento significativo del OPEX asociado al Backhaul.

Por otro lado, hay otros aspectos a considerar, no relacionados con costos como son las nuevas funcionalidades que deben ser introducidas para responder al tráfico generado por los nuevos servicios y que incluyen gestión tanto de Calidad de Servicio (QoS) como de resiliencia, lo que nos sugiere el tránsito hacia redes de conmutación por paquetes.

Además, las redes contenidas en el Backhaul deben soportar numerosas generaciones de tecnologías simultáneamente, lo que hace necesaria la protección de las inversiones de las tecnologías existentes por varios años conjuntamente con una estrategia para la introducción de futuras tecnologías tanto de acceso como de redes.

En resumen, una infraestructura en el Backhaul de Radio en las redes de servicios

móviles debe cumplir con los siguientes requisitos para hacerle frente a las demandas actuales y futuras.

- Debe ser flexible de modo que soporte tanto los servicios tradicionales como los basados en IP.
- Debe ser escalable para que soporte las nuevas tecnologías en evolución.
- Debe poseer una relación Costo-Rendimiento alta, para compensar los gastos demandados por el incremento de tráfico.
- Debe ser una red convergente de manera que los operadores no tengan la necesidad de operar dos redes por separado.

El objetivo general de este trabajo es proponer una solución para las redes de transporte en la RAN de servicios móviles para una futura evolución hacia tecnologías de Tercera Generación aplicada sobre los mismos sitios celulares actuales, manteniendo en uso el sistema actual GSM. Para lograrlo se deben cumplimentar algunos objetivos específicos como son:

- Caracterizar las redes móviles existentes en cuanto a la estructura de transporte que existe actualmente en su RAN.
- Investigar como se manifiesta en la actualidad el mapa evolutivo de las tecnologías móviles y el estado actual de su desarrollo.
- Investigar la problemática actual a la que hay que enfrentarse para la evolución de los servicios móviles.
- Investigar el estado actual de las tecnologías, estrategias y soluciones así como el equipamiento disponible para llevar a cabo una evolución de los servicios móviles.
- Investigar y relacionar las diferentes soluciones que las instituciones y fabricante proponen para dar solución al proceso de evolución. Valorar las recomendaciones técnicas que se adaptan a nuestro caso.
- Evaluar y proponer las soluciones adecuadas al caso de Cuba.
- Evaluar y proponer las redes de acceso necesarias para el transporte en la RAN que exijan las soluciones propuestas.
- Analizar la posibilidad de utilizar los resultados obtenidos para su aplicación en un marco más extenso dirigido a la convergencia de tecnologías diferentes.

Para el desarrollo de los objetivos se realizó una extensa revisión técnica y búsqueda bibliográfica basada en artículos, tutoriales, reportes y pronósticos principalmente mediante la utilización de sitios especializados en Internet.

El trabajo da respuesta a las interrogantes siguientes:

¿Cuál es el estado actual de las redes móviles en Cuba en relación con la transmisión en su RAN?

¿Cuál es la problemática y el estado actual en la evolución de los servicios móviles en el mundo?

¿Cuáles son las estrategias y soluciones propuestas para la evolución de los servicios móviles en el mundo?

¿Cuáles son las soluciones para implementar una plataforma de transmisión que permita la evolución futura de los servicios móviles hacia la Tercera Generación sin interrupción de los servicios actuales y donde las estaciones compartan los mismos sitios que las actuales?

¿Qué beneficios técnicos aportaría esta plataforma para las redes de comunicaciones móviles en Cuba?

Este trabajo brinda los aportes siguientes:

- Ofrece una referencia para conocer la forma en que se está abordando y ejecutando el tema de la evolución de los servicios móviles en el mundo.
- Proporciona una solución aplicable a las redes móviles existentes en Cuba y preparada para aceptar futuras tecnologías.
- Su aplicación deja preparada las redes móviles en Cuba para futuras evoluciones conjuntamente con los servicios de datos fijos y otros servicios nuevos en una misma plataforma
- La solución permite la convergencia de tecnologías y servicios en las redes de transmisión y abre el camino para la introducción futura de una plataforma con tecnología IMS.
- El trabajo está estructurado en tres capítulos en los cuales, siguiendo el orden lógico de la investigación, se van presentando las valoraciones, análisis y propuestas así como los resultados obtenidos.

El primer capítulo relaciona en orden de generaciones, las características fundamentales que definen las diferentes tecnologías móviles tanto presentes como futuras, haciendo énfasis en los parámetros y definiciones que son de importancia en el proceso de evolución. Además, se muestran algunas comparaciones de interés entre las diferentes tecnologías. A continuación, se presentan las trayectorias de evolución de cada tecnología, el modelo de referencia de la RAN que se utilizó para el análisis y las definiciones derivadas de este y por último, el análisis sobre la problemática, los escenarios y los desafíos para la evolución de las tecnologías móviles y el estado actual de ellas a nivel mundial.

El segundo capítulo relaciona el análisis realizado sobre las diferentes soluciones y estrategias que a nivel mundial proponen las instituciones y los proveedores de

tecnologías para efectuar la evolución de las tecnologías y los servicios en el contexto móvil.

El tercer capítulo presenta las soluciones que se proponen para ser aplicadas en nuestros servicios móviles, y extensible a otras tecnologías procedentes de otros proveedores. En el mismo se fundamenta en forma detallada los aspectos que justifican su elección.

CAPÍTULO 1. TECNOLOGÍAS, EVOLUCION Y PROBLEMÁTICA MUNDIAL DE LOS SISTEMAS MÓVILES.

1.1. Tecnologías Móviles Actuales. Generalidades.

El objetivo de este capítulo es dar una panorámica general de las distintas tecnologías que en la actualidad están involucradas en el proceso de evolución. La descripción de cada caso es genérica y breve, haciendo énfasis en las estructuras fundamentales y las definiciones específicas de cada tecnología que se deben conocer para la mejor comprensión del proceso, las estrategias y las soluciones de evolución. La descripción se realiza agrupando las tecnologías por generaciones.

1.2 Tecnologías de segunda generación.

Aquí se agrupan las tecnologías PDC, TDMA, GSM, GPRS, EDGE, cdmaOne y CDMA2000 1x.

1.2.1 Tecnología PDC: PDC son las siglas que identifican el estándar de telecomunicaciones móviles Celular Digital Personal. Es un sistema de Segunda Generación desarrollado y utilizado exclusivamente en Japón. Se basa en una variante de TDMA (Múltiple Acceso por División de Tiempo). Utiliza portadoras de 25 kHz, con modulación DQPSK y con 3 intervalos de tiempo a 11.2 kbps o 6 intervalos de tiempo a 5.6 kbps. Se implementa en las bandas de 800 MHz y 1.5 GHz para servicios de voz y de datos hasta 9.6 kbps y en su variante PDC-P se alcanza hasta 28.8 kbps de datos por conmutación de paquetes. [2]

1.2.2 Tecnología TDMA: La tecnología TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y en particular TDMA IS-136 es la Segunda Generación de sistemas móviles que se le ha denominado D-AMPS, más comúnmente TDMA-136. Esta constituye un avance digital del sistema analógico AMPS con existencia en América.

Utiliza técnica de acceso TDMA en la interfase de aire y su capacidad es mayor que la de su predecesor analógico, mediante la división de cada par de canales de 30 kHz en tres intervalos de tiempo y comprimiendo digitalmente la voz, logrando una capacidad de llamada tres veces mayor en una celda simple. TDMA-136 adiciona un número de características que incluyen mensajes de texto, datos por conmutación de circuitos y un protocolo de compresión. Utiliza las bandas de frecuencias de 800 y 900 MHz pero cada canal de 30 kHz creado mediante FDMA es posteriormente dividido en tres TDA lo cual triplica los canales disponibles y el número de llamadas. Esta tecnología puede alcanzar velocidades de datos de hasta 48.6 kbps cuando se utiliza modulación 16 QAM y canales de 30 KHz. [3], [4]

1.2.3 Tecnología GSM: Sistema Global para las Comunicaciones Móviles. Es un sistema estándar para comunicación utilizando teléfonos móviles que incorporan tecnología digital. El desarrollo de la nueva norma celular digital paneuropea comenzó en 1985. GSM ha evolucionado desde entonces para ser la principal norma global de segunda generación, en términos de número de abonados y área de cobertura. GSM es un sistema de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) de ocho intervalos con espaciamiento de portador de 200 KHz. Existen tipos diferentes de celdas en una red GSM: macro, micro, pico y femto las que se diferencian por el grado de cobertura. La mayor distancia que soporta la especificación GSM es de 35 Km. aunque existen implementaciones para extenderla. La modulación utilizada es GMSK. GSM opera en las bandas de 800, 900, 1800 y 1900 MHz. GSM constituye una tecnología celular abierta que soporta voz y transferencia de datos hasta 9.6 kbps conjuntamente con Servicio de Mensajes Cortos (SMS). [5], [6]

GSM es una técnica de conmutación de circuitos. A los efectos del proceso de evolución, lo más importante es lo que acontece en la interfase Abis, localizada entre el BSC y las estaciones base (BTS). La arquitectura general de un sistema GSM se ilustra en la siguiente figura:

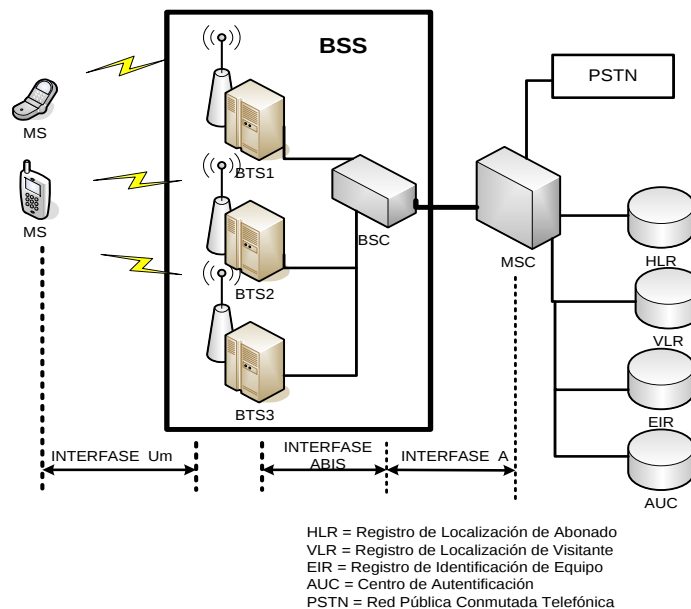


Figura 1. Arquitectura del Sistema GSM.

1.2.4 Tecnología GPRS.

GPRS (Servicio General de Paquetes de Radio) es una tecnología digital ampliamente desarrollada en servicios de datos inalámbricos y en particular en sistemas GSM. Esta considerada como la generación 2.5. Proporciona velocidades de transferencia de datos en el orden de 40 kbps. GPRS es una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM,

pasando de la conmutación de circuitos en GSM a la conmutación de paquetes. GPRS constituye una solución original para el servicio de datos por paquetes de GSM y proporciona una solución de conectividad IP, brindando así un amplio rango de aplicaciones. La arquitectura se muestra en la siguiente figura.

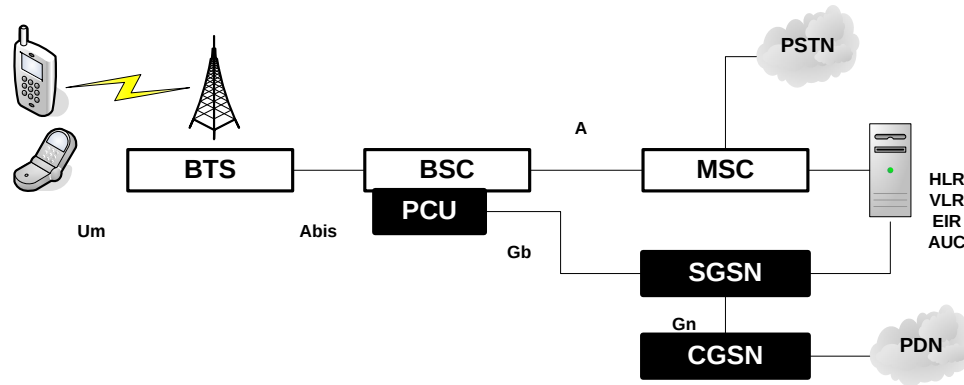


Figura 2. Arquitectura GPRS.

La arquitectura GPRS adiciona a la red GSM tres elementos nuevos denominados: PCU, SGSN y GGSN que originan las respectivas interfases Gb y Gn.

La PCU es la Unidad de Control de Paquetes encargada de la conversión de los paquetes de datos a un formato que pueda ser transferido sobre la interfase de aire, además gestiona los recursos de radio e implementa mediciones de la Calidad de Servicio. Se encuentra en el BSC.

El GGSN es el Nodo de Soporte para Puerto GPRS destinado a proporcionar un puerto entre la red GPRS y la red pública de paquetes de datos (PDN) o con otras redes GPRS. Por su parte el SGSN es el Nodo de Soporte de Servicio GPRS que brinda las funciones encargadas de la gestión de sesiones y la movilidad en GPRS y esta sujeto al HLR a través de la interfase Gr y al MSC/VLR a través de la interfase Gs. Los enlaces entre nodos GPRS y bloques GSM son mediante interfases SS7. [7], [8]

1.2.5 Tecnología cdmaOne:

Inicialmente conocida como IS-95. Como definición, las redes que utilizan la interfase de aire CDMA IS-95 y el protocolo de red ANSI-41 se denominan cdmaOne. Utiliza Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). La misma hace uso de la técnica de espectro extendido con reutilización de frecuencia además de diversidad de multitrayecto y multiplexación estadística de la voz, todo con el objetivo de brindar una eficiencia espectral superior. Además, utiliza FDD (Duplexado por División de Frecuencia) con una separación de frecuencia de 45 MHz y con un ancho de banda de portadoras de 1.25 MHz. La tecnología se presenta en dos variantes: La inicial, denominada IS-95-A, utiliza uno o más portadoras operando en las bandas de 800 y 1900 MHz. Esta posee las ventajas de maximizar la tecnología inalámbrica CDMA e incorpora la eficiencia de IP

soportando tasas de transmisión de paquetes de hasta 14.4 kbps y transporte basado en paquetes. La segunda variante, denominada IS-95-B incluye varias mejoras en los algoritmos utilizados en el proceso de transferencia entre celdas en ambientes de múltiples portadoras y también sobre los parámetros que afectan el control de la flexibilidad del proceso. Pero el mayor cambio que presenta tiene que ver con las tasas de datos, tanto para conmutación de paquetes como de circuitos de hasta 115 kbps, mediante la agrupación de hasta ocho canales de código de 14.4 o 9.6 kbps. Normalmente se utiliza para voz y transmisión de paquetes a 64 kbps. [9], [10]

1.2.6 Tecnología CDMA2000 1X-RTT .

Esta especificación fue desarrollada por 3GPP2. Este estándar puede ser implementado en el espectro existente o en asignaciones espectrales nuevas y preparó el camino hacia las nuevas fases de redes de tercera generación. Es el resultado de la evolución de las tecnologías cdmaOne. Esta tecnología proporciona aproximadamente el doble la capacidad de voz del antecesor cdmaOne y proporciona tasas de datos promedio de 144 kbps. Es compatible con las redes y terminales cdmaOne y mejora su desempeño. Esta tecnología no fue completada pero su desarrollo introdujo una serie de mejoras con relación a la especificación anterior como son:

- Compatibilidad con la tecnología IS95B.
- Demodulación coherente en el enlace de subida con inversión de piloto.
- Control de potencia rápido.
- Razones de datos de hasta 150 kbps o 300 kbps en dependencia de la configuración de tráfico del canal de radio.
- Modulación QPSK en los enlaces de bajada y subida.
- Codificación de canal mejorada para tasas de transmisión altas.

Este sistema es considerado como primer paso hacia 3G pero pertenece a 2.5G. [11], [12], [13]

1.2.7 Tecnología EDGE.

EDGE (Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM), también conocida como EGPRS (GPRS Mejorado). Utiliza la misma estructura que las redes actuales GSM lo cual le permite constituirse como una capa sobre la red existente GSM. Para muchas redes existentes GSM/GPRS, EDGE es una simple actualización de software. El objetivo de esta tecnología es incrementar la razón de transmisión de datos y la eficiencia espectral y facilitar nuevas aplicaciones e incrementar la capacidad.

EDGE es capaz de ofertar tasas de datos pico teóricas de hasta 473.6 kbps. Estas velocidades son posibles gracias a nuevas técnicas de modulación y métodos de transmisión tolerantes ante errores que son combinados con mecanismos de adaptación del enlace mejorados.

Básicamente, EDGE introduce una nueva técnica de modulación y codificación de

canal, que puede ser utilizada para transmitir tanto voz como datos conmutados por paquete y circuitos. EDGE es un complemento de GPRS y no puede trabajar solo.

Mientras que GPRS tiene definidos solo cuatro esquemas diferentes de codificación, designados CS1 a CS4. En EGPRS son introducidos nueve esquemas de codificación de modulación designados desde MCS1 hasta MCS9. Estos llevan a cabo la misma tarea de los esquemas de GPRS. Los esquemas desde MCS1 hasta MCS4 utilizan modulación GMSK mientras los cinco restantes utilizan modulación 8PSK. [14], [15], [16]

1.2.8 Evolución de EDGE.

Evolución de EDGE ofrece mayores tasas de datos y capacidades del sistema. También ofrece mejor continuidad de servicio entre EDGE y HSPA. Los objetivos de Evolución de EDGE son:

- Un 100 por ciento de incremento en las razones de transmisión pico para datos.
- Un incremento del 50 por ciento en la eficiencia espectral y la capacidad en escenarios con una relación portadora /interferencia limitada.
- Un incremento de 3 dB en la sensibilidad para el enlace de bajada en voz y datos.
- Lograr compatibilidad con los planeamientos de frecuencias para de esta forma facilitar el despliegue en las redes existentes.
- Coexistir con las estaciones móviles legadas permitiendo que tanto las estaciones viejas como las nuevas compartan los mismos recursos de radio.
- Evitar impactos en la infraestructura mediante mejoras a través de actualizaciones del software.

Las especificaciones para el desarrollo de esta tecnología están presentes en la versión 7 de 3GPP. [16],

1.3 Tecnologías de tercera generación.

Aquí se consideran las tecnologías derivadas de la iniciativa IMT-2000 que dieron lugar a dos vertientes: La primera se denomina UMTS y esta basada principalmente en tecnología WCDMA con las mejoras HSPA y HSPA+ y en las variantes de acceso TD-SCDMA y TD-CDMA. La segunda constituye la evolución de CDMA2000 hacia las variantes 1xEV-DO, 1xEV-DV y 3x. [16], [17], [18]

1.3.1 Tecnologías IMT-2000.

IMT 2000 significa Telecomunicaciones Móviles Internacionales- 2000 y es una iniciativa de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Constituye un sistema nuevo de comunicaciones móviles de tercera generación establecido para salvar

las limitaciones de rendimiento de los servicios basados en los sistemas de la segunda generación. IMT-2000 ha sido discutido a través de las organizaciones de estándares internacionales 3GPP y 3GPP2.

El proyecto 3GPP realiza la construcción de IMT-2000 a partir del sistema GSM/GPRS, mientras que 3GPP2 lo hace basado en el mejoramiento del sistema cdmaOne. Sobre esta base, se elaboraron las redes IMT-2000 correspondientes a cada proyecto. En el proyecto según 3GPP se le denominó UMTS (Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal) y en el caso de 3GPP2 se denominó CDMA 2000. [19]

1.3.2 Tecnologías UMTS

UMTS es una de las tecnologías móviles de Tercera Generación (3 G) y constituye una tecnología de voz y datos de alta velocidad que forma parte de la familia de estándares IMT-2000. La técnica utilizada es WCDMA. UMTS proporciona una razón de transmisión pico para datos de 350 kbps donde las velocidades típicas son de 200 kbps para el enlace de subida y 300 kbps para el de bajada. Con la adición de HSPA para servicio de paquetes de alta velocidad, esta tecnología va emergiendo rápidamente como la red móvil de banda ancha dominante globalmente. [20]

UMTS utiliza un par de canales de 5 MHz, uno en el rango de 1885–2025 MHz para el enlace de subida y uno en el rango de 2110–2200 MHz para el de bajada. La arquitectura del sistema UMTS está integrada por tres dominios que interactúan: Núcleo de Red (CN), Red UMTS de Acceso de Radio Terrestre (UTRAN) y el equipo del usuario (UE).

El UE es capaz de operar en tres modos: CS (conmutación de circuito) donde la conexión del UE es directa contra el CN, PS (conmutación de paquetes) donde la conexión es solamente contra el dominio PS o combinado CS/PS donde puede brindar ambos servicios simultáneamente.

Los componentes de la RAN son las estaciones base denominadas Nodo B y los Controladores de la Red de Radio (RNC). UMTS basa su arquitectura en las redes GSM con GPRS con modificaciones en los equipos y servicios. La figura 3 ilustra esta arquitectura. [20], [21], [22]

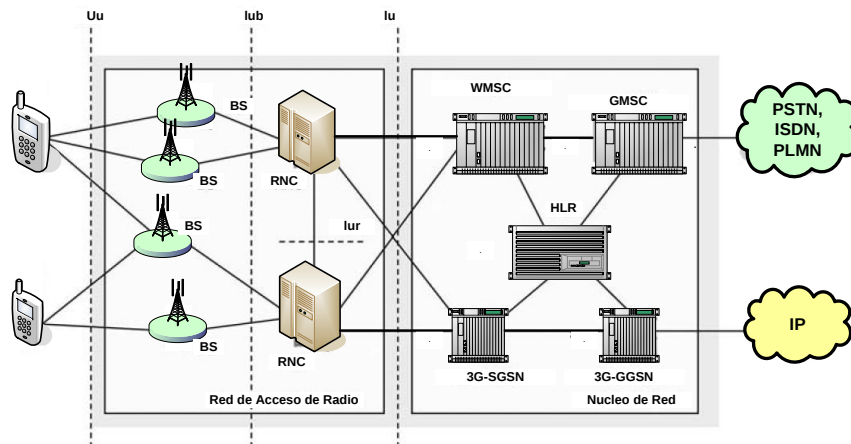


Figura 3. Arquitectura UMTS.

1.3.2.1 Tecnología WCDMA.

WCDMA (Múltiple Acceso por División de Código de Banda Ancha) es un sistema del tipo DS-CDMA o sea, CDMA de Secuencia Directa. Esta tecnología permite acceso múltiple basado en dispersión de espectro. Esto significa que los bits de información del usuario están dispersos sobre un ancho de banda amplio mediante la multiplicación de la información de usuario con bits quasi-aleatorios llamados chips derivados de los códigos de dispersión CDMA. La razón a la que los datos son dispersados se denomina razón de chip. El terminal móvil de destino utiliza el mismo código de dispersión que aquel usado en el punto de transmisión y lleva a cabo detección de correlación. Cada usuario es identificado por un código de dispersión único asignado a él. La razón de chip usada es de 3.84 Mcps, la que da lugar a un ancho de banda de la portadora de 5 MHz.

WCDMA es un paso superior en la tecnología CDMA. Las principales ventajas que esta tecnología brinda son:

- Soporte de razones de bit superiores.
- Eficiencia del espectro superior.
- Calidad de Servicio superior.

Esta tecnología incorpora una serie de nuevas funciones esenciales y necesarias para el control de la red y la gran cantidad de dispositivos móviles que la utilizan que son:

- **Control de Potencia.** Mediante lo cual se regula la potencia transmitida tanto por el Terminal como la estación base. Esta función mejora la cobertura y el nivel de interferencia en la red y da lugar a un fenómeno mediante el cual aparece un compromiso dinámico entre capacidad y cobertura que es equivalente a que el tamaño de la celda varíe en dependencia del tráfico.

- **Transferencia de Celdas Mejorada.** Esto significa la aparición de dos funcionalidades al llevar a cabo la transferencia entre celdas denominadas, soft handover y softer handover. En la primera el dispositivo móvil puede comunicarse simultáneamente con dos o más celdas en dos o más estaciones base y en el segundo, el dispositivo puede comunicarse a múltiples celdas en la misma estación base.
- **Transferencia de Celdas entre sistemas.** Se realiza entre sistemas WCDMA y GSM y tiene ventajas de acuerdo a la dirección desde donde se requiera. Si es desde WCDMA a GSM esta posibilidad brinda mayor cobertura al usuario ya que cuando un usuario se mueve fuera del área de cobertura WCDMA, la transferencia sobre GSM conduce a mantener la conexión. El proceso en el sentido inverso trae efectos positivos en cuanto a capacidad ya que permite compartir la carga del sistema GSM con el WCDMA, cuando el número de suscriptores en el primero esta cerca de su capacidad limite en un área.
- **Transferencia entre frecuencias.** Esta necesidad ocurre en áreas de gran capacidad donde están desplegadas múltiples portadoras WCDMA y se requiere la transferencia entre portadoras de diferente frecuencia.
- **Conmutación del tipo de Canal.** Básicamente WCDMA transporta los datos en dos tipos de canales los dedicados, que se utilizan cuando se requiere transmitir mucha información con una utilización eficientemente de los recursos de radio y los comunes con menor eficiencia espectral pero con retardo reducido para cuando muchos suscriptores desean compartir el mismo recurso. Esta modalidad permite mover los suscriptores entre estos canales en dependencia de cuanta información necesitan transmitir.
- **Control de Admisión.** Funcionalidad que se utiliza para evitar sobrecarga del sistema, admitiendo o bloqueando al suscriptor en dependencia del estado de carga del sistema
- **Control de Congestión.** Esta funcionalidad evita la congestión del sistema producido por el movimiento de los suscriptores de un área a otra y que no ha sido evitada por el Control de Admisión. Los resultados se logran mediante reducción de la tasa de transmisión y de aplicaciones en tiempo real.

La Red de Acceso de Radio (RAN), en la arquitectura WCDMA puede utilizar el núcleo de red GSM en forma conjunta. La RAN WCDMA esta compuesta de dos nodos:

- La estación base, denominada Nodo B y donde se define como Uu a la interfase de aire correspondiente. Esta es gestionada por el Controlador de la Red de Radio (RNC) a través de la interfase Iub.
- El Controlador de la Red de Radio, que es el nodo que controla todas las funciones de la Red de Acceso de Radio WCDMA. Este conecta la RAN con el núcleo de la red a través de la interfase Iu. El RNC desempeña dos papeles, el de servicio y el de control. El RNC de servicio tiene control completo de los dispositivos que están conectados a la RAN, controlando la conexión en la interfase Iu para el dispositivo móvil y da terminación a varios protocolos en el contacto entre el móvil y la RAN. Por su parte, el RNC de control posee el control completo de un grupo particular de celdas y sus estaciones base asociadas.

Los requerimientos entre controladores de servicio y control se realizan a través de la interfase Iur que los conecta. [13], [23], [24]

1.3.2.2 Tecnología TD-CDMA.

TD-CDMA es una combinación de técnicas de acceso por división de tiempo y técnica de división de código. A diferencia de GSM, cada intervalo de tiempo no está dedicado a un enlace particular si no que puede ser utilizado simultáneamente por varios enlaces diferentes, superponiendo las señales por medio de la técnica de división de código. El valor máximo teórico de los canales que pueden ser multiplexados en cada portadora de radio está dado por el número de intervalos de tiempo multiplicado por el número de códigos disponibles.

En este sistema, la relación entre la razón de chip y la razón de bit de información en los canales individuales es fija en el enlace de bajada y es variable en el de subida. La transmisión y los servicios TDD con razones de bit asimétricas o sea, con razones de transmisión, mayores en una de las dos direcciones, pueden ser suministrados simplemente dedicando parte de los intervalos de tiempo en una dirección de transmisión y los restantes en la dirección opuesta. [21], [25]

1.3.2.3 Tecnología TD-SCDMA.

TD-SCDMA viene de División de Tiempo por Acceso Múltiple por División de Código Sincrónico. Esta es una de las tecnologías 3G oficiales desarrollada principalmente para su despliegue en China como alternativa WCDMA. Esta especificada por la 3GPP como una variante del sistema TDD de UMTS. La misma opera con una razón de chip de 1.28 Mcps en contraste con 3.84 para UMTS/TDD. Su atributo principal es que está diseñada para soportar densidades de suscriptores muy altas. Utiliza S-CDMA (CDMA Sincrónico) como método de acceso a través de múltiples intervalos de tiempo. Está orientada para todo tipo de escenario. Utiliza TDD y puede acomodar más fácilmente el tráfico asimétrico, mediante el ajuste dinámico del número de intervalos de tiempo utilizado en ambos sentidos de transmisión. Al no necesitar aparear los espectros en los enlaces de subida y bajada, se incrementa la flexibilidad en la asignación

espectral. Al utilizar la misma frecuencia portadora en ambos sentidos de enlace la condición del canal es la misma en ambas direcciones y la estación base puede deducir la información del canal de bajada a partir de la estimación en los canales del enlace de subida. Esta tecnología utiliza además TDMA, lo que reduce el número de usuarios en cada intervalo de tiempo. En esta tecnología las señales en el enlace de subida están sincronizadas al receptor de la estación base lo que reduce la interferencia entre usuarios de un mismo intervalo de tiempo que usan diferentes códigos al mejorar la ortogonalidad entre los códigos con el consecuente incremento de la capacidad.

Esta tecnología utiliza el mismo núcleo de red de UMTS y es posible que el mismo núcleo de red pueda soportar redes de acceso de radio tanto UMTS como TD-SCDMA. [26]

1.3.2.4 Tecnologías HSPA.

HSPA, (Acceso de Paquete de Alta Velocidad) es una terminología genérica usada para referirse a la combinación de dos tecnologías en la red, una en el enlace de bajada denominada HSDPA (Acceso de Paquete de Alta Velocidad en enlace de bajada) y la otra en el de subida denominada HSUPA (Acceso de Paquete de Alta Velocidad en enlace de subida). Sus especificaciones vienen dadas por las versiones 5 y 6 del 3GPP respectivamente. HSPA brinda una serie de beneficios como son:

- Uso más eficiente del espectro con una capacidad de alrededor de tres veces la establecida para UMTS.
- Tecnología compatible con UMTS, EDGE y GPRS.
- HSPA opera con casi todas las frecuencias GSM permitiendo una capacidad de cambio de área de cobertura.

Las características particulares de los componentes de HSPA están asociadas a UMTS, que es el caso más común ya que UMTS ha trazado una trayectoria de evolución hacia HSPA.

HDSPA: Constituye una actualización sobre el enlace de bajada del sistema UMTS centrado en aplicaciones de datos. Los aspectos claves son:

- **Esquema de modulación adicional.** Basado en 16 QAM que permite transportar mayor cantidad de datos. El esquema original es QPSK.
- **HARQ (Demanda de Retransmisión Automática Híbrida).** Es un método de control de errores mediante retransmisión de paquetes, lo que hace posible obtener paquetes correctos a partir de combinaciones de paquetes malos, aún si los paquetes retransmitidos tienen errores, lo que permite una rápida recuperación ante deterioro de las condiciones de propagación.

- **Mejora en la dinámica de Planeamiento de la transmisión.** Lo que permite determinar a que usuario transmitir y en que momento en dependencia de las condiciones del canal.
- **Adaptación de enlace.** Selecciona el esquema de codificación mas apropiado para la transmisión de la próxima secuencia de paquetes basado en la calidad del enlace, medida ya sea por el móvil o la estación base.
- **Múltiples niveles de Calidad de Servicio.** Los que están agrupados en cuatro categorías: conversacional, simultáneo, interactivo y de fondo.

Mediante HSDPA se pueden lograr valores picos teóricos de 14 Mbps para un canal de 5 MHz de ancho de banda bajo UMTS.

HSUPA: Es el acompañante tecnológico de HSDPA aplicado en el enlace de subida. Utiliza tecnologías similares a la de HSDPA pero no son idénticas dada las diferencias de los enlaces y las restricciones que imponen la gran cantidad de terminales comunicándose con la estación base. Por tanto, existen unas pocas diferencias fundamentales que se relacionan a continuación.

- El enlace de subida en UMTS/HSUPA no es ortogonal pues una ortogonalidad completa no puede ser mantenida entre todos los dispositivos móviles, lo que trae por resultado un aumento en la interferencia dentro de la misma celda.
- Los dispositivos de almacenamiento para el planeamiento de transmisión están localizados en un solo nodo que es la estación base en el caso de enlace de bajada, mientras que en el de subida el almacenamiento esta distribuido dentro de varios dispositivos móviles.
- En el enlace de bajada el recurso distribuido es la potencia de transmisión, mientras que en el de subida el recurso esta limitado por el nivel de interferencia que puede ser tolerado y que depende de la potencia de transmisión de los múltiples dispositivos móviles
- En el enlace de subida, las ventajas de las técnicas de modulación de alto nivel no son las mismas que en el de bajada ya que no hay necesidad de distribuir códigos de canalización entre usuarios y las tasas de codificación son menores.

HSUPA es capaz de dar valores picos teóricos en la transmisión de datos del orden de 5,8 Mbps. [16], [27]

1.3.2.5 Tecnologías HSPA +

La tecnología HSPA+ (Evolución de HSPA o HSPA Mejorado) fue estandarizada por 3GPP en su versión 7 y 8. La misma brinda un rendimiento y un soporte mejorado para servicios de conversación e interactivos en tiempo real. [16], [28]
Algunos de los aspectos relevantes de HSPA+ son los siguientes:

- HSPA+ constituye un aspecto ventajoso para los operadores de GSM-HSPA al brindarle una línea estratégica con desempeño equivalente a una técnica OFDMA en asignaciones de espectro de 5 x 5 MHz solamente con un incremento de inversión.
- HSPA+ incrementa significativamente la capacidad de HSPA además de reducir la latencia por debajo de 50 milisegundos.
- La primera fase de HSPA+ con modulación 64 QAM proporciona tasas de desempeño con un valor pico teórico de en el enlace de bajada de 21 Mbps.

1.3.3. Tecnologías CDMA 2000.

Estos sistemas constituyen evoluciones del sistema 1x-RTT y siguen empleando portadoras de 1.25 MHz. Aquí tenemos tres variantes: 1XEV-DO, 1XEV-DV y 3X. Los sistemas 1XEV tienen dos fases: 1XEV-DO y 1XEV-DV.

1.3.3.1 Tecnología 1XEV-DO.

Los sistemas 1XEV-DO constituyen una evolución del 1X-RTT. Este sistema fue implementado solamente para datos y puede brindar valores pico de razón de datos de 2.4 Mbps. Este sistema fue diseñado para brindar un servicio de paquetes de datos de alta velocidad sin las restricciones que soportan los servicios legados. La tecnología posee una eficiencia espectral muy alta en el enlace de bajada mediante la utilización de modulación de orden superior, rápida adaptación de tasa de transmisión y programación para un canal simple de datos de alta velocidad que es multiplexado en tiempo entre usuarios activos. Sin embargo, el enlace de subida se parece mucho al del 1X-RTT con una razón de datos inferior y más latencia. Solamente brinda servicios de datos sobre la base del mejor esfuerzo y no sobre calidad de servicio. [11], [29]

1.3.3.2 Tecnología 1XEV-DV.

Aquí se desea brindar servicios de datos de alta velocidad y voz sobre una sola portadora de 1.25 MHz con costos mas bajos y compatibilidad regresiva. Además, de brindan servicios de datos por paquetes en tiempo real y se introduce un mecanismo para garantizar una calidad de servicio dada. [11]

Los rasgos claves de este sistema son:

- Introducción de un nuevo modo de canal de paquetes de datos de bajada y sus protocolos asociados.
- Modulación de órdenes superiores y adaptación de enlace en los nuevos canales de paquetes de datos de bajada soportando una razón de datos pico de 3,1 Mbps.
- Tramas cortas entre 1.25 y 5 ms y una programación rápida para lograr beneficios a partir de la diversidad de multiusuario.

- Rápido establecimiento de la llamada y autenticación mejorada.

1.3.3.3 Tecnología CDMA2000 3X.

Este estándar utiliza tres veces la capacidad de portadora de 1,25 MHz inicial para un total de 3,75 MHz y tiene compatibilidad regresiva con las tecnologías 1X y cdmaOne y sus desarrollos. Ofrece tasas de transmisión de datos del orden de 2 Mbps. [30]

1.4 Tecnologías de cuarta generación.

1.4.1 Tecnología LTE

LTE (Evolución para Largo Plazo) es el próximo paso de consideración en las comunicaciones móviles y fue introducido por la 3GPP en su versión 8. Utiliza como tecnología de acceso el multiplexado por división de frecuencias ortogonales (OFDM). Esta tecnología de acceso brinda una ventaja de implementación práctica de transmisión en el orden de cientos de MHz con canales de radio de gran amplitud sin complejidades técnicas. Los requerimientos originales de LTE según 3GPP son los siguientes:

- Incremento de la razón de transmisión de datos pico a 100 Mbps en el enlace de bajada y de 50 Mbps en el de subida.
- Reducción de la latencia en la RAN a 10 ms.
- Eficiencia del espectro mejorada en comparación con HSPA de la versión 6 en el orden de dos a cuatro.
- Migración efectiva en cuanto a costos a partir de la arquitectura y la interfase de radio dada por la versión 6 de 3GPP.
- Mejora de la difusión
- Ancho de banda escalable a 20 MHz, 15 MHz, 10 MHz, 5 MHz, 3 MHz, y 1.4 MHz.
- Soporta interrelación de trabajo con sistemas 3G existentes así como sistemas no especificados por 3GPP.

La infraestructura LTE esta diseñada para ser desplegada y operada en forma simple a través de una tecnología flexible y en gran variedad de bandas de frecuencias

La arquitectura LTE se basa en una evolución de los núcleos de red existentes GSM/WCDMA mediante operaciones simplificadas y un despliegue suave y efectivo en cuanto a costos. Esta arquitectura reduce el número de nodos, soporta configuraciones de red flexibles y brinda un alto nivel de disponibilidad de servicio.

La misma opera en interrelación con GSM, WCDMA/ HSPA, TD-SCDMA y CDMA. Existen solo dos nodos en esta arquitectura: la estación base denominada eNodeB y la Compuerta SAE que actúa como controlador. Las estaciones base LTE se conectan al núcleo de red mediante la interfase denominada S1.

En la actualidad, LTE logra picos de 326 Mbps en la tasa de transmisión para el enlace de bajada y de 86.4 Mbps en el de subida, con un ancho de banda de 20 MHz.

Esta tecnología opera tanto en el modo de pares de frecuencia FDD (Duplexado por División de Frecuencias como en TDD (Duplexado por División de Tiempo). Se han definido quince bandas de frecuencia para FDD y ocho para TDD por parte de la 3GPP para el uso de LTE. [16], [31], [32]

1.4.2 Tecnología WiMAX Móvil

La tecnología WiMAX (Interoperabilidad Mundial mediante Acceso por Microonda), ha emergido como una alternativa potencial de la tecnología celular para redes inalámbricas de gran área. La base de WiMAX móvil esta en la familia de especificaciones IEEE 802.16 descritas para redes metropolitanas de banda ancha denominadas también como redes MAN inalámbricas de donde surge el estándar IEEE 802.16e que define el WiMAX móvil donde, además de la movilidad, se mejora el esquema de modulación hacia el estándar de Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales Escalable (SOFDMA). Esta tecnología esta aprobada por IMT-2000 bajo el nombre de Red de Área Metropolitana Inalámbrica con Duplexado por División de Tiempo de OFDMA. WiMAX no es una tecnología simple si no una familia de tecnologías interrelacionadas operativamente.

WiMAX utiliza solamente TDD y sus bandas asignadas, lo que lo limita en cuanto a disponibilidad global. Por otro lado emplea mecanismos de modulación de orden superior, codificación eficiente, modulación y codificación adaptativa, al igual que Petición de Retransmisión Automática Híbrida (HARQ)

WiMAX móvil utiliza modulación de nivel superior (64 QAM en el enlace de bajada y 16QAM en el de subida), además utiliza los mecanismos ya utilizados en UMTS/HSPA. Por otro lado se diferencia en cuanto a formato físico de señal, esquema de duplexado, mecanismo de transferencia y bandas de frecuencia de operación. [33], [34]

1.4.3 Tecnologías IMT-Avanzado.

La ITU creó un concepto para sistemas de comunicaciones móviles con capacidades superiores a las establecidas en IMT-2000 (30 Mbps.) Este concepto fue denominado IMT-Avanzado. Las tecnologías que se insertan aquí serán desplegadas alrededor del 2015 en algunos países según la visión de la ITU. Los sistemas concebidos dentro de este concepto manejarán tasas de transmisión de

datos de 100 Mbps para el caso de alta movilidad y de 1 Gbps par los casos de baja movilidad, lo que sugiere una gran variedad de servicios y la necesidad de disponer de interfases de radio diferentes y bandas de frecuencias para acceso. [35], [36]

1.5 Rasgos Comparativos Principales de las Tecnologías Móviles

Los rasgos principales que definen las diferentes tecnologías móviles están dados por los esquemas de múltiple acceso que se adopten, conjuntamente con la técnica de duplexado asociada. A partir de ello se derivan los parámetros básicos que definen la capacidad, nivel de interferencia, reuso de frecuencia, protocolo de red, velocidad de transmisión, ancho de banda y eficiencia espectral.

El análisis de los esquemas de acceso se realiza a partir de la problemática que se presenta en un ambiente multiusuario el que se caracteriza por la existencia de múltiples enlaces de comunicaciones que comparten los recursos totales en cuanto a tiempo y frecuencia de forma tal que cada usuario individual esta habilitado para transmitir o recibir sus datos específicos paralelamente e independientemente de los otros usuarios del sistema, lo que se define por acceso múltiple

La expresión matemática que representa el grupo de señales que llegan al receptor de un usuario en este sistema viene dada por:

$$S(t; b_1, b_2, \dots, b_K) = \sum_{k=1}^K A_k S_k(t - \tau_k; b_k) \quad (1)$$

Donde $b_k = (b_{k,0}, b_{k,1}, \dots)$ representa la secuencia de datos del usuario k y $b_{k,i}$ define el símbolo i en la secuencia, que modula la señal de usuario k $S_k(t)$ dando por resultado la señal modulada $S_k(t; b_k)$. Por tanto, si K representa el número de usuarios activos en el sistema entonces el término de la derecha en (1) representa la secuencia de las señales moduladas provenientes de los usuarios activos en el sistema que llegan al receptor. En el término de la derecha, A_k y τ_k representan la atenuación y el atraso introducido por el canal respectivamente. Si adicionamos el ruido del canal $n(t)$ la señal observada en el receptor será:

$$Y(t) = S(t; b_1, b_2, \dots, b_K) + n(t) = \sum_{k=1}^K A_k S_k(t - \tau_k; b_k) + n(t) \quad (2)$$

Por su parte, el receptor debe recuperar los datos del usuario a partir de la observación $Y(t)$ estimando cada una de las secuencias de datos separadamente mediante maximizado de la correlación para que este proceso sea optimo las señales provenientes del usuario deben ser ortogonales entre si independientemente de los datos transmitidos. Bajo este principio de

ortogonalidad, los distintos esquemas de acceso múltiple se derivaran en dependencia del sentido en que se aplique la ortogonalidad. Si es en frecuencia esto dará lugar al esquema de acceso FDMA donde los usuarios son asignados con segmentos diferentes del ancho de banda disponible. Si la ortogonalidad es en el sentido del tiempo el esquema de acceso se denomina TDMA en el cual todos los usuarios están sincronizados en tiempo y a cada usuario se la asigna un intervalo de tiempo de duración finita en un tiempo particular. De otro modo, si se tiene en cuenta una ortogonalidad de código el esquema de acceso se nombra CDMA que es aquel donde a cada usuario se le asigna un código particular.

En sentido general y en base al Teorema del Muestreo, el máximo número de señales ortogonales no será mayor de $2W_t T_t$ donde W_t es el ancho de banda total y T_t el intervalo de tiempo total de transmisión. Para una transmisión de símbolos de M estados con una razón de transmisión de los símbolos R se cumple que:

$$T_t = (\log_2 M) / R$$

Por tanto

$$2W_t T_t = (2W_t \log_2 M) / R$$

De donde se deriva que el límite máximo de usuarios K en un esquema de acceso múltiple ortogonal estará dado por:

$$K = \left\{ \begin{array}{l} \frac{2W_t}{R}, M = 2 \\ \frac{W_t \log_2 M}{R}, M > 2 \end{array} \right\}$$

Como último esquema general de acceso ortogonal tenemos el esquema OFDMA que constituye una versión multiusuario del esquema de modulación digital OFDM y se basa en la asignación de un subconjunto de subportadoras a cada usuario individual lo que permita la transmisión simultánea de datos de baja velocidad desde varios usuarios. Este esquema se puede ver como un híbrido entre TDMA y FDMA. [13]

En general, los esquemas de acceso ortogonales tienen ventajas comunes como:

- Pueden emplear técnicas de modulación de órdenes superiores para incrementar la razón de transmisión del usuario.
- Pueden evitar la interferencia entre celdas asignando sub-espacios de señales ortogonales a diferentes usuarios.

También tienen desventajas comunes:

- Son sensibles a interferencias entre celdas.
- Usualmente es necesaria una sincronización para mantener la ortogonalidad.

Existen otros esquemas de acceso menos comunes y que en su mayoría son el resultado de combinaciones de los esquemas aquí expuestos algunos de ellos son:

- OFDM-TDMA (combinación de OFDM y TDMA)
- OFDM-CDMA (combinación de OFDM y Cdma)
- SC-FDMA (FDMA con Portador Simple)
- IDMA (Múltiple acceso por división entrelazada)
- OFDM-IDMA (combinación de OFDM e IDMA)
- SDMA (Acceso múltiple por división espacial)
- MC-CDMA (CDMA con portadoras múltiples.)

Conjuntamente con los esquemas de acceso, se definen los métodos de duplexado a utilizar por los diferentes esquemas de acceso en los enlaces de subida y bajada y que en muchos caso estas combinaciones entre acceso y duplexado definirán la tecnología.

Los métodos de duplexado clásicos son dos: Duplexado por División de Tiempo (TDD) y Duplexado por División de Frecuencia (FDD). La diferencia básica entre ellos es que FDD se implementa en sistemas donde los esquemas de acceso múltiple utilizados requieren enlaces de subida y bajada con diferentes frecuencias, permitiendo un intercambio de información simultaneo con reducción de las interferencias. Por su parte, TDD se implementa cuando se utiliza una sola frecuencia en el esquema de acceso tanto para el enlace de subida como el de bajada. Esto infiere que la elección de uno u otro esquema dependen de los recursos de frecuencia y las características de esquema de acceso que se emplee para satisfacer las necesidades.

TDD tiene algunas ventajas sobre FDD en cuanto a complejidad y costos sobre todo aquellos asociados a filtros, mezcladores y sintetizadores ya que TDD hace un reuso de estos recursos al trabajar a una sola frecuencia en ambos sentidos de transmisión. De igual forma hace uso más eficiente del espectro disponible. Además, TDD es más flexible en cuanto a la asignación dinámica de recursos y la reconfiguración. Por ultimo TDD permite la mitigación de interferencia mediante un planeamiento adecuado al necesitar solamente un canal libre de interferencia mientras que FDD requiere dos canales. La Tabla 1 refleja los principales rasgos comparativos entre los esquemas de acceso con algunas ventajas y desventajas

Tabla 1. Rasgos de los diferentes esquemas de acceso múltiple		
Acceso	Ventajas	Desventajas
FDMA AMPS GSM	• Simple implementación desde el punto de vista de hardware. • Bastante eficiente para áreas de baja población y con tráfico constante. • Un incremento de capacidad se puede obtener reduciendo la razón de transmisión de la información y utilizando códigos digitales eficientes. • Bajo costo de la tecnología de hardware.	• Planificación intensiva de la red y el espectro. • En un sistema convencional, la eficiencia espectral se ve afectada debido a los canales inactivos • El planeamiento de frecuencia consume mucho tiempo. • La presencia de bandas de guarda requiere de un correcto filtraje para minimizar la interferencia de canal

		adyacente. La razón de transmisión máxima por canal es baja lo que atenta sobre la flexibilidad en cuanto a la capacidad.
TDMA GSM GPRS EDGE DAMPS PDC	- Permite una razón de bit flexible. - Permite la utilización de todas las ventajas de las técnicas digitales como: interpolación digital de voz codificación de fuente y canal, etc. - Facilidad de transferencia entre celdas debido a la transmisión no continúa. - El intervalo de tiempo de guarda entre intervalos de tiempo reduce el impacto de la inestabilidad de reloj y los atrasos en tiempo de transmisión. - Distribuye una portadora de frecuencia con múltiples usuarios. - Los intervalos de tiempo pueden ser asignados de acuerdo a la demanda en forma dinámica. - El control de potencia es menos exigente que en CDMA debido a la reducida interferencia entre celdas. - Mejor cabecera de sincronización que CDMA. - Mejor eficiencia espectral que FDMA. - Puede acomodar mayor número de usuarios en un mismo espectro que FDMA lo que se traduce en un incremento de capacidad. - Utilización eficiente de las jerarquías de celdas. - Puede manejar video y audio en forma eficiente. - La transferencia de frecuencia es muy segura y mejor que en CDMA debido a que el móvil solo recibe y transmite en su propio intervalo de tiempo por lo que el tiempo restante de la trama se utiliza para mediciones y correcciones en la red.	- Demanda una alta potencia pico en el enlace de subida. - Para razones de datos altas se hace necesario métodos de ecualización avanzados - La utilización temporal de recursos desde celadas adyacentes es más complicado que CDMA. - Complejidad en la asignación del intervalo de tiempo/frecuencia. - Intensivo planeamiento del espectro y la red. - Calidad se afecta por interferencia por trayectos múltiples - Las bandas de frecuencia de guarda contribuyen a ineficiencias espectrales.
CDMA IS-95 WCDMA CDM2000 TD-SCDMA	- Eficiencia espectral mejorada en el orden de dos o tres veces con relación a FDMA y TDMA. - Las celdas adyacentes pueden utilizar el mismo canal de frecuencia. - Transferencia de celdas mejorada. - Incremento de la seguridad al utilizar múltiples códigos de dispersión. - Mejora de la calidad de la llamada debido al filtraje del ruido de fondo, la diafonía y la interferencia. - Planeamiento de frecuencia más simplificado que el utilizado para FDMA y TDMA ya que todos los usuarios utilizan el mismo espectro de frecuencias. - Incremento de tiempo de llamada y capacidad de baterías debido a la posibilidad de control preciso de la potencia. - Determinación del tiempo relativo entre transmisor y receptor. - Mayor flexibilidad en la asignación de los recursos. - Factor de reuso es 1 en comparación con otros sistemas donde el valor está entre 0.5 y 0.7, ya que celdas adyacentes utilizan grupos de códigos de dispersión diferentes pero	- El control de potencia es necesario en CDMA, de lo contrario la señal de un usuario cercano a la estación base eclipsará las provenientes de los extremos alejados. - El piso de ruido en CDMA lo determina la potencia de los múltiples usuarios en el receptor. Si no hay control de la potencia de cada usuario en la celda de forma tal que no sea igual a la de la estación base ocurrirá un problema que generara interferencia de unos usuarios en otros. - La Interferencia de múltiple acceso (MAI) es un problema en los sistemas CDMA. La misma ocurre cuando las secuencias de dispersión de todos los usuarios no son exactamente ortogonales, dando lugar a interferencias a otros usuarios. - La optimización para maximizar el comportamiento es más dificultosa. - En áreas de bajo tráfico hay

	- pueden operar a la misma frecuencia. - Disminuya los efectos del desvanecimiento de señal por multitrayecto de pequeña escala debido a poseer una inherente diversidad de frecuencia. - El comportamiento del sistema se ajusta en dependencia del número de usuarios simultáneos. - El sistema posee una capacidad limite moldeable ya que el incremento del número de de usuarios en el sistema eleva el techo de ruido, por lo que no existe un limite absoluto en el número de usuarios. - Rechaza en forma efectiva la interferencia de banda estrecha y es resistente a la interferencia por trayectos múltiples.	tendencia a una ineficiente utilización de los recursos de espectro y equipos. - El costo de la estación base es superior. - La compatibilidad regresiva con otras tecnologías es costosa.
OFDMA LTE WIMAX	- Flexibilidad de despliegue a través de varias bandas de frecuencia con poca necesidad de modificación de la interfase de aire. - Promediar interferencias provenientes de celdas vecinas mediante usando diferentes permutaciones de la portadora básica entre usuario de celdas diferentes. - Las interferencias dentro de la celda son promediadas usando asignación con permutaciones cíclicas. - Habilita cobertura de red por frecuencia simple donde existe problema de cobertura dando una excelente cobertura. - Proporciona diversidad de frecuencia mediante dispersión de portadoras por todo el espectro en uso.	- Alta sensibilidad a fluctuaciones de frecuencia y ruido de fase. - La ganancia de diversidad y la resistencia al desvanecimiento de frecuencia selectivo se puede perder en parte si la cantidad de subportadoras asignadas a cada usuario es poca y si la misma portadora es utilizada para cada símbolo OFDM. - El manejo de la interferencia co-canal desde celdas cercanas es mas complejo que en el caso CDMA lo que requiere una asignación dinámica del canal con coordinación avanzada entre estaciones base adyacentes - La compleja electrónica de OFDM incluyendo el algoritmo FFT y la corrección de error esta activa constantemente lo que significa una ineficiencia desde el punto de vista de consumo de potencia

Otros aspectos a comparar son aquellos relacionados con los parámetros que tienen una importancia significativa, fundamentalmente en el proceso de evolución y en particular los que definen las características de transmisión en la red de acceso de radio. En primer lugar están las velocidades de transmisión aproximadas que las diferentes tecnologías son capaces de brindar, tanto en el enlace de bajada como el de subida, lo que proporciona una medida de la capacidad de cada tecnología para hacer frente a una demanda específica y en segundo lugar esta el tipo de transporte en la red de acceso de radio (RAN). En la tabla 2 se exponen las comparaciones entre los sistemas móviles sobre la base de estos parámetros.

Tabla 2. Comparaciones entre las diferentes Tecnologías Móviles

Tecnología	Generación	Velocidad en enlace de bajada (DL)	Velocidad en enlace de subida (UL)	Tipo de Transporte
PCD	2	9.6Kbps/28.8(PDC-P)	9.6Kbps/28.8(PDC-P)	T1/E1
TDMA IS-136	2	48.6 kbps (16 QAM)	48.6 kbps (16 QAM)	T1/E1
GSM	2	10 kbps	10 kbps	T1/E1
GSM/GPRS	2.5	56- 114 kbps	56- 114 kbps	T1/E1
cdmaOne	2	64kbps	64kbps	T1/E1
cdma2000	2.5	150-300 kbps	150-300 kbps	HDLC o
1xRTT				T1/E1
EDGE	2.5	70 - 130 kbps	70 - 130 kbps	T1/E1
E-EDGE	2.5	150 – 500 kbps	100 – 500 kbps	T1/E1
IMT-2000 /UMTS				
WCDMA	3	200 – 300 kbps	200 – 300 kbps	ATM, IMA ,IP
TD-CDMA		3.3 Mbps máx.	3.3 Mbps máx.	IP/L2
TD-SCDMA		2.048 Mbps máx.	2.048 Mbps máx.	IP/L2
HSDPA		14 Mbps	380 kbps	ATM, IP
HSUPA		14 Mbps	5.8 Mbps	ATM, IP
HSPA+		42 Mbps	11.5 Mbps	IP
IMT-2000 /CDMA2000				
1xEV-DO	3	2.4 Mbps	153 kbps	IP/MLPP o ET
1xEV-DV		3.1 Mbps	1.8 Mbps	IP/MLPP o ET
CDMA 2000 3x		2 Mbps	2 Mbps	IP/MLPP o ET
LTE	4	100 Mbps	50 Mbps	IP
WiMAX Móvil		50 Mbps	50 Mbps	IP
IMT-Avanzado		100 Mbps – 1Gbps	100 Mbps – 1Gbps	

1.6 Trayectoria de evolución de las diferentes tecnologías.

La trayectoria de evolución se analiza a partir del mapa de evolución que se presenta a continuación en la figura 4.

En la actualidad, la gran mayoría de las redes GSM han evolucionado para incluir servicios GPRS y EDGE. Algunos operadores se han encaminado hacia la evolución de EDGE y han permanecido en este nivel debido a que la capacidad que brinda este avance puede satisfacer sus necesidades actuales y futuras y que son comparables con sistemas 3G en su primera fase. Por otro lado, la gran mayoría de los operadores de redes GSM y en especial las redes GSM/GPRS/EDGE están migrando hacia UMTS/WCDMA. Por su parte, algunos

operadores de sistemas TDMA se han unido al grupo GSM para migrar hacia WCDMA mientras que otros lo hacen hacia la dirección CDMA iniciada por los sistemas cdmaOne que evoluciona hacia las variantes 2.5G y 3G de IMT-2000/CDMA2000.

Todos los sistemas CDMA de generación 2G y 2.5G han migrado hacia CDMA 2000, donde aquellos operadores que han decidido separar los servicios de datos de alta velocidad de los de voz migran hacia 1xEV-DO

El sistema de Japón PDC evoluciona directamente hacia UMTS/WCDMA sobre la variante 99 de UMTS.

La línea de evolución a partir de WCDMA esta bien definida y todos los operadores evolucionan hacia HSPA (HSDPA/HSUPA) y HSPA+.

En cuanto a los sistemas 4G, la tendencia es la de adoptarlas en forma directa. En el caso particular de LTE se describe un tendencia de migración desde UMTS/HSPA/HSPA+. Por su parte, la tendencia a la adopción de WiMAX móvil es aun incierta así como la migración desde las tecnologías CDMA 2000 hacia aquellas de generación 4G.

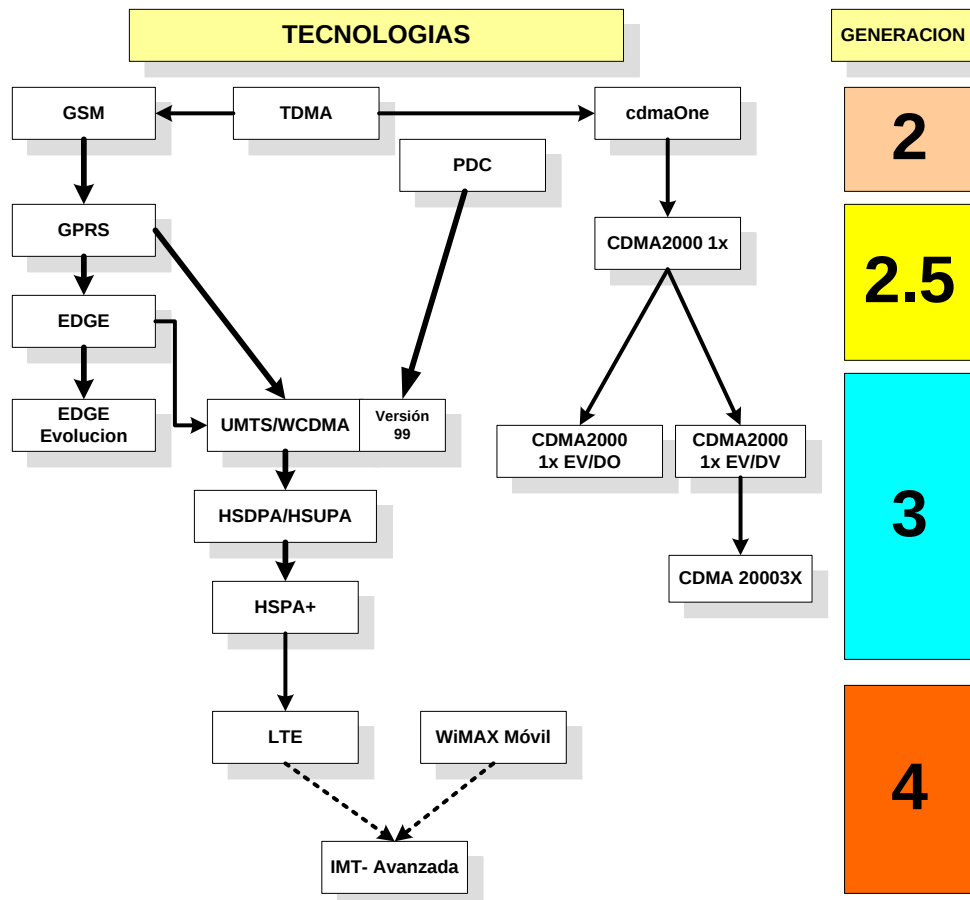


Figura 4. Mapa de evolución de las tecnologías móviles.

1.7 Problemática mundial del proceso de evolución.

Para realizar un análisis del estado actual de la problemática mundial primeramente se necesita definir una topología genérica de la red de servicios móviles que sirva como referencia, independientemente de las generaciones que se utilicen. A partir de esta topología se estructuran las definiciones y los términos utilizados en las arquitecturas de referencia a partir de las cuales se analiza el estado actual del proceso evolutivo y se plantean las diferentes soluciones.

1.7.1 Modelo de referencia y definiciones.

La siguiente figura ilustra la arquitectura genérica a utilizar para el tratamiento de las redes móviles.

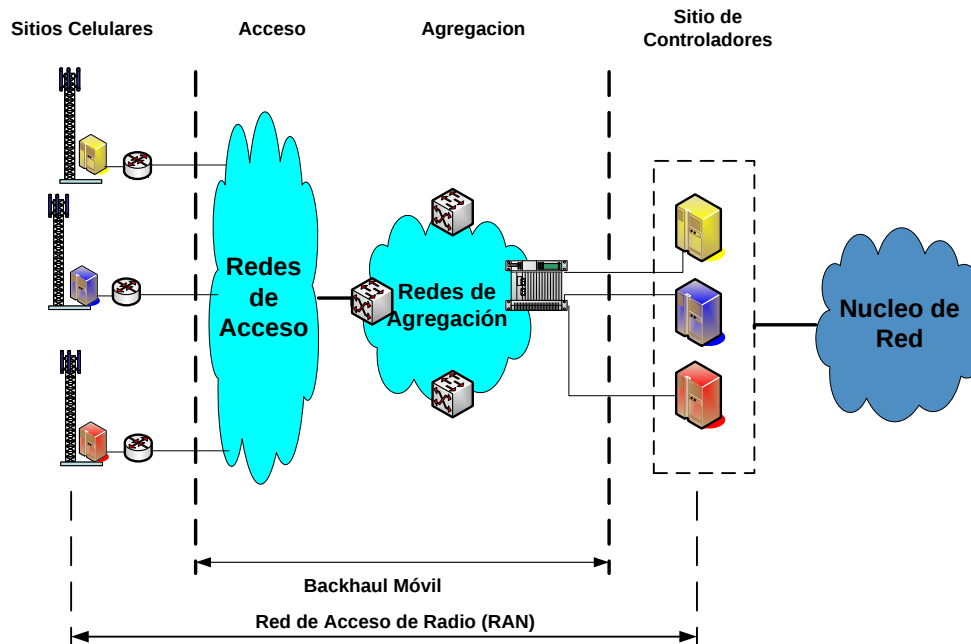


Figura 5. Arquitectura Genérica para Redes Móviles.

En esta arquitectura se definen cuatro grupos importantes: los Sitios Celulares, compuestos por las radio bases que pueden ser de diferentes tecnologías según la generación a la cual están destinadas, el Sitio de Controladores compuesto por los controladores de Estaciones Base correspondientes a cada una de las tecnologías en uso, la red de transporte, denominada Núcleo de Red, que comunica con los centros de conmutación y los accesos de datos y que incluye también a estos últimos, la Red de Agregación donde se lleva a cabo la agregación de tráfico proveniente de las distintas tecnologías utilizadas y por ultimo la Red de Acceso que esta compuesta por todos los elementos y equipos destinados al transporte del tráfico agregado hacia las estaciones base correspondientes. En esta arquitectura se define la Red de Acceso de Radio,

abreviada RAN, donde radican todos los elementos y las diferentes tecnologías destinadas al acceso a los sitios y destinada a las funciones de Agregación. La arquitectura de RAN comprende las diversas tecnologías de acceso utilizadas para llevar el tráfico móvil hasta la estación base y que en principio están constituidas principalmente por enlaces de radio y /o redes ópticas regionales PDH y SDH aunque se utiliza también DSL. Además incluye las redes de agregación cuya función primaria es la de permitir el acceso simultaneo de varios proveedores con controladores independientes ya sea con tecnologías iguales o diversas hacia las respectivas estaciones base o también permitir la agregación de tráfico en nodos de la red situados en puntos diferentes del sitio de los controladores. En la actualidad la arquitectura predominante en la RAN esta sustentada por tecnologías GSM en las generaciones 2 y 2.5 con mejoras dirigidas hacia la transmisión de datos utilizando las técnicas GPRS y EDGE que permiten alcanzar velocidades del orden de 470 Kbps. Para este tipo de tráfico, la tecnología de transporte utilizada es TDM. Esto quiere decir que cuando se desea desplegar nuevas tecnologías de servicios móviles, los operadores se encuentran que las redes de transporte existentes están basadas en los principios de conmutación de circuitos, transportados por redes ópticas y/o eléctricas PDH y SDH y basadas en técnica TDM. Por otro lado, las redes de agregación, en el caso que se justifique su necesidad, están destinadas a la convergencia de diferentes controladores pero de la misma tecnología. Otro aspecto a considerar el lo relativo a la estructura de la RAN existente es que prevalece la denominada estructura plana que consiste en una topología en estrella donde se permite únicamente la comunicación desde el controlador hacia las estaciones base y desde estas solamente con su respectivo controlador, descartando cualquier posibilidad de comunicación directa entre estaciones o entre controladores.

Es en la Red de Acceso de Radio donde se manifiestan los inconvenientes y las complejidades para la evolución de los servicios y en particular en el segmento de red móvil que conecta las estaciones base con sus controladores dentro de un área de cobertura. Este segmento se denomina universalmente con el término backhaul y todos los análisis de costos, la literatura especializada, así como las soluciones que proponen las Organizaciones y Forum internacionales encargadas de definir las arquitecturas de referencia y la certificación de los equipamientos a utilizar para el logro de las soluciones, sin despremiar las soluciones particulares que los fabricantes de equipos proponen, se expresarán siempre en términos del backhaul móvil. Por ello, este trabajo esta centrado en el análisis sobre el mismo de acuerdo a cada caso en particular y no en los cambios tecnológicos consecuentes que se manifiestan en el núcleo de la red móvil aunque se debe tener en cuenta que pueden existir soluciones que incluyan o que pueden integrar además este núcleo de red pero no es en esta porción del sistema donde se presentan las dificultades y los grandes cambios que estas generan. Además, algunos analistas incluyen el núcleo de la red móvil dentro de la definición de backhaul ya que en definitiva, los cambios que se realicen en este tienen consecuencias directas en el núcleo correspondiente. En resumen, el backhaul es el principal protagonista en los costos y los inconvenientes para los procesos evolutivos.

1.7.2 Problemática mundial.

Hace algunos años atrás, los servicios en el backhaul no ocupaban muchas líneas. En estos momentos constituyen tópico de conferencias y presentaciones tanto en vivo como en la Web a tal punto que constituye el foco primario en el área de los proveedores de servicio. La razón es muy simple: los ingresos y los costos. En el 2005, los proveedores de servicio pagaron 16 billones de dólares por concepto de gastos por cambios de accesos y 19 billones en el 2006. Además se pronostica, para el 2009, un incremento de un 60% en las inversiones de equipamiento. [37], [38]

El backhaul siempre ha sido la parte más costosa del sistema. Un incremento en la demanda de servicio trae como consecuencia un drástico incremento en sus requerimientos mientras disminuyen los ingresos por bit. Al mismo tiempo, la evolución de los servicios desde 2G hacia 3G y 4G impone cambios en la infraestructura de acceso requerida.

En principio, los operadores de servicios móviles tienen que enfrentarse a un aumento brusco en las demandas de ancho de banda debido a la proliferación de servicios de datos basados en 3G y las mejoras emergentes introducidas en la interfase del aire para el logro de altas velocidades de transmisión como es HSPA. Además, deben ahora ser capaces de soportar simultáneamente demandas con tecnologías que divergen de las redes existentes 2G/2.5G a aquellas que emergen producto de la operación de redes 3G. La migración desde redes de conmutación de circuitos 2G basadas en TDM a redes 3G basadas en conmutación de paquetes, como son Ethernet, IP y MPLS introduce nuevos desafíos. En particular, los operadores de redes móviles debe evaluar el costo, la conveniencia y la disponibilidad de la plataforma de acceso elegida para el manejo del incremento en la capacidad de ancho de banda y ser capaces a la vez de gestionar las complejidades de una red con convergencia de voz y datos. Estos operadores también deben proteger (o emular) los servicios tradicionales o de origen tales como voz, los cuales aun se tienen que tomar en consideración en la distribución sustancial de los ingresos.

Esto último es un punto importante a tener presente siempre que se hable de evolución de los servicios móviles. Ejemplo de ello es el análisis realizado en el 2009 para el territorio de los Estados Unidos, el cual arrojó que a pesar de los resultados relacionados con los requerimientos de ancho de banda como consecuencia de la evolución de los servicios hacia 3G y 4G, esto no dará lugar a la eliminación de los iniciales 2G, si no todo lo contrario, estas tecnologías estarán en uso por periodos extensos y continuaran creciendo mientras que las nuevas tecnologías se extenderán superpuestas a ellas. Por este motivo, se presenta un cambio dramático en cuanto a tecnología y requerimientos de ancho de banda al nivel del sitio celular ya que originalmente, un sitio soportaba un solo proveedor y un solo servicio. Ahora estos sitios soportarán servicios 2G/2.5G, 3G y hasta 4G y como consecuencia, en lugar de un único proveedor de servicios ahora podrán poseer hasta 6 con un promedio de 4. [39]

Si se tiene en cuenta que para un sitio que combine tecnologías 2G y 3G, un

proveedor de servicio puede suministrar entre 1 y 8 flujos T1/E1, entonces en el promedio de posibles proveedores el resultado neto puede alcanzar 24 T1/E1 por sitio. El pronóstico hasta el 2012 sobre el impacto en la distribución del ancho de banda entre las diferentes tecnologías se muestra en forma gráfica en la siguiente figura. [39]

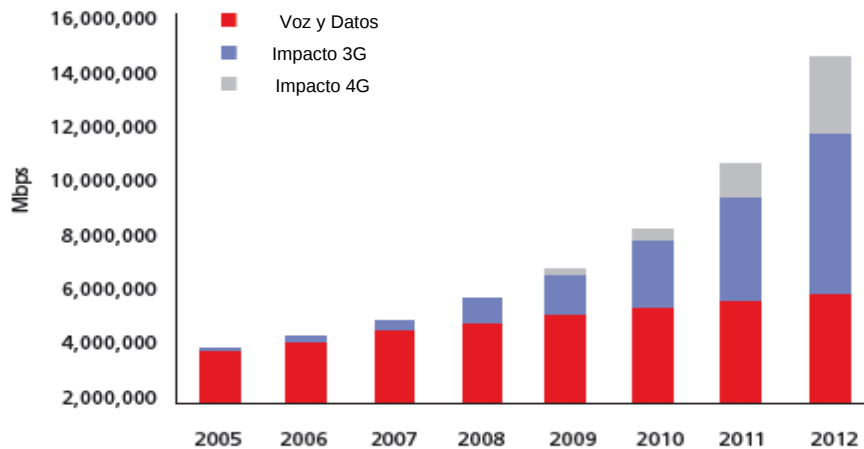


Figura 6. Distribución del Ancho de Banda 2G, 3G y 4G. Fuente: Overture Net.

Adicionalmente y en términos de caudal de datos, una encuesta realizada en Noviembre del 2009 da como pronóstico para el caudal de transmisión de datos de base de los sistemas móviles de banda ancha a nivel mundial, el valor de 21 Mbps. Este continuo y rápido aumento de ancho de banda esta determinado por la introducción de nuevas tecnologías y las consecuencias derivadas del proceso de evolución hacia las mismas, lo que implica nuevas redes y nuevos dispositivos e innovaciones en el mercado. [40]

Como consecuencia del aumento de suscriptores de servicios móviles de banda ancha se ha modificado la relación entre suscriptores fijos y móviles en el mercado mundial. [41]

Los aspectos significativos son:

- En el 2008 el número de suscriptores móviles a nivel mundial era casi cuatro veces mayor que los correspondientes a líneas de acceso.
- En el 2008 el número de suscriptores móviles creció en un 17,4% con relación al 2007 mientras que aquellos de líneas de acceso declinaron en un 5.5% en igual periodo.

La figura 7 muestra una gráfica comparativa de la correlación entre servicios fijos y móviles.

Suscriptores Fijos y Moviles a nivel Mundial

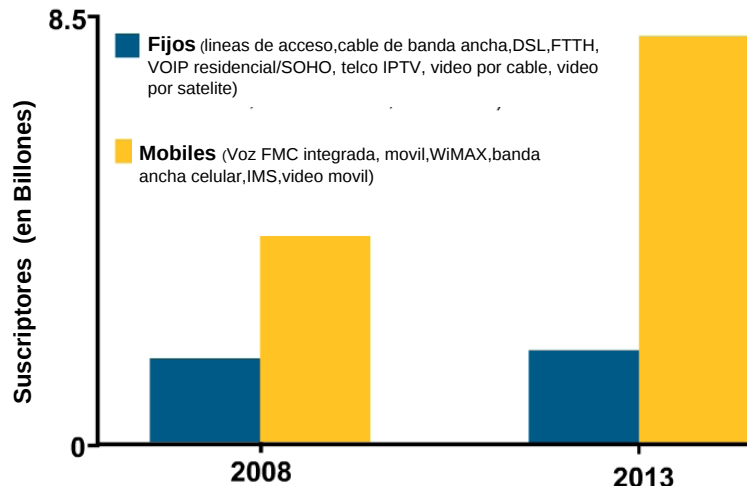


Figura 7. Correlación entre servicios fijos y móviles. Fuente: Infonetics

En un reporte realizado en Noviembre del 2009 se espera que el número de nuevos suscriptores móviles sobrepase, entre el 2009 y el 2013 los 1,6 billones con una cifra de 700,000 suscriptores de banda ancha móvil. Este incremento requerirá mas estaciones base, más conexiones hacia los sitios celulares y mayores capacidades en el backhaul lo que implica un incremento significativo en los equipamientos para cada conexión con los sitios. [42]

En el caso específico de la región de América Latina y el Caribe un análisis realizado indica un total de suscripciones por encima de 447 millones en el cuarto semestre del 2009 basadas en tecnología GSM-HSPA. [43]

En general, teniendo en cuenta los variados pronósticos dados por los analistas se puede afirmar que en el 2013 el número de suscriptores de servicios móviles de banda ancha será superior a un billón a nivel mundial mientras que el número total de suscriptores de servicios móviles alcanzara los 5.9 billones.

Hasta aquí se puede resumir que los operadores de servicios móviles tienen que enfrentar una rápida y creciente demanda de tráfico. Las soluciones a estas demandas implican inversiones en equipamiento con los consecuentes gastos de operaciones en las redes y específicamente en el backhaul móvil, lo que lleva al análisis de la situación actual de este desde el punto de vista de los costos y los ingresos.

El tratamiento de este aspecto se lleva a cabo mediante la evaluación de tres elementos:

- Los costos de operación (OPEX) relacionados básicamente con los procesos de operación y mantenimiento de las tecnologías activas y los que exigen las nuevas tecnologías en su evolución.
- Los gastos de inversión (CAPEX) que representan el costo en la compra de infraestructuras y equipamiento destinados para la mejora de los sistemas activos y en la introducción y despliegue de las nuevas tecnologías hacia las que se evoluciona.
- Los ingresos medios por suscriptor (ARPU) que representan el promedio de ingresos por suscriptor en un periodo de tiempo definido.

El backhaul constituye el mayor contribuyente en cuanto a costos cuando los operadores desean desplegar un segmento dedicado para 3G o planean integrar varias generaciones en una misma plataforma, que es lo encontrado cuando pretenden iniciar la evolución de tecnologías y los costos de operación asociados al tradicional se incrementan con más rapidez que los ingresos generados por los nuevos servicios de datos como resultado del rápido incremento de la demanda de ancho de banda debido a la introducción de las nuevas tecnologías.

En las figuras que a continuación se presentan, vemos el comportamiento de los costos e ingresos en relación con las demandas de tráfico para un backhaul basado en TDM, que es la condición de partida en la evolución de los servicios.

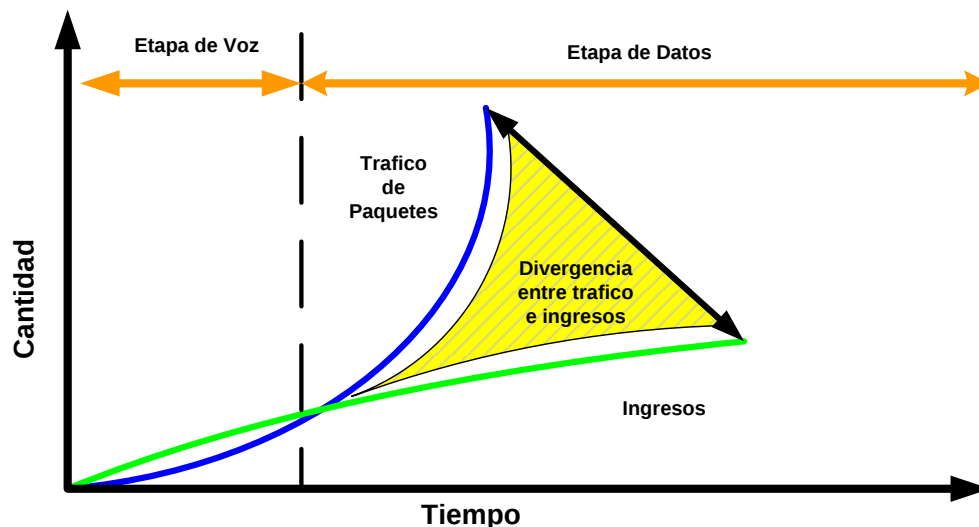


Figura 8. El ARPU declina con el aumento de ancho de banda.

La figura 8 muestra el comportamiento de los ingresos en relación con las demandas de tráfico. Como se puede ver de la figura, durante la etapa en que el predominio de tráfico era el de voz, los ingresos eran convergentes con el tráfico generado. En la medida que comienza a predominar la transmisión de datos sobre la voz la divergencia entre los ingresos y las demandas de tráfico se hacen más significativas. Esta consecuencia es evidente ya que las demandas de servicios y el incremento de suscriptores se manifiestan tan abruptamente que los operadores

no pueden dar una respuesta adecuada cuando parten de estructuras basadas en TDM y como consecuencia de ello, los costos aumentan en la misma medida que lo hace el tráfico, aspecto que se ve representado gráficamente en la figura 9

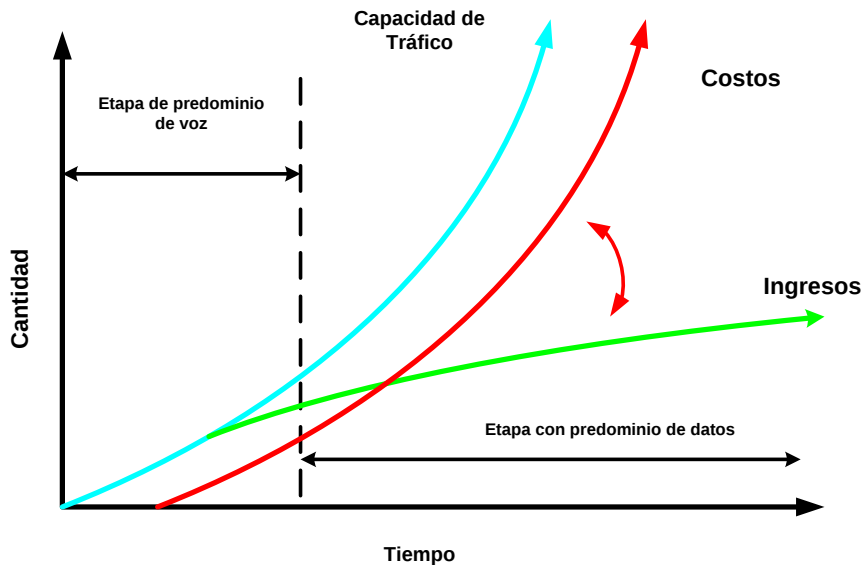


Figura 9. Tráfico, costos e ingresos para un backhaul TDM.

Si se analiza este comportamiento, conjuntamente con los resultados y los pronósticos anteriormente expuestos en relación con la magnitud en que se manifiestan las demandas de tráfico y servicios, y el incremento en el número de suscriptores hasta la actualidad, se puede afirmar que los operadores están obligados a reducir el costo por bit en el transporte de datos mientras continúan suministrando anchos de banda mayores para los servicios de datos de alta velocidad de nueva incorporación, manteniendo y garantizando la calidad de los servicios de voz y la calidad de servicio de operación.

Al mismo tiempo, se requiere una reducción significativa de los costos operacionales con vista a compensar el declive del ARPU y competir con un grupo numeroso de nuevos competidores y tecnologías. Por tanto, el desafío consiste en un backhaul eficiente, ya que según los analistas y proveedores el 25% del costo total de una red móvil se debe a la transmisión, de la cual el 75% se debe al backhaul y por tanto, las necesidades evolutivas de una red móvil se derivan de aquellas pertenecientes a este. [44]

En la actualidad, las redes móviles de tercera generación ya son una realidad. En Noviembre del 2007 existían ya 190 redes 3G con servicio comercial en alrededor de 83 países y con alrededor de 800 tipos diferentes de dispositivos 3G lanzados al mercado provenientes de 90 suministradores. [45]

Se pronostica que en el 2010 el 50% de los ingresos provenga de los servicios 3G/4G con un aumento de hasta el 80% en el 2015. [46]

La siguiente figura muestra el pronóstico de ingresos por tecnología a partir del 2008 hasta el 2015 de acuerdo al pronóstico anterior.

El 50% de los ingresos proviene de los servicios 3G/4G alcanzando el 80% en el 2015

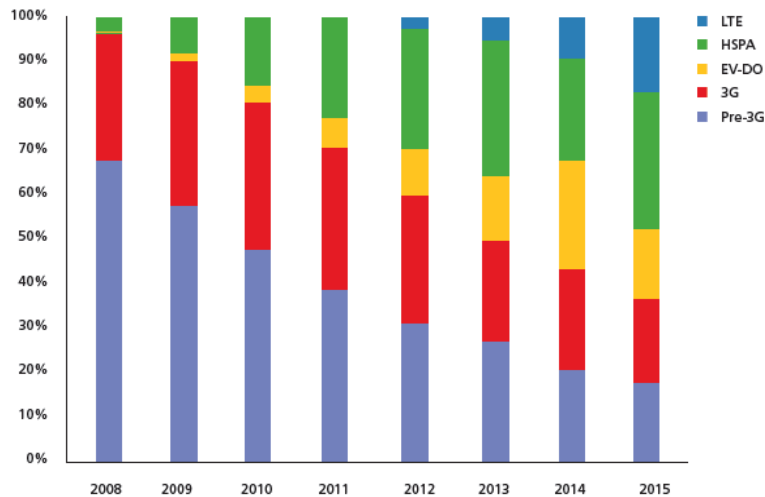


Figura 10. Ingresos por tecnologías hasta el 2015. Fuente: Analysys Research

El comportamiento actual y los pronósticos en relación con los ingresos y los costos en el backhaul, de acuerdo a los reportes de los analistas da como resultado que las inversiones en equipamiento dieron un salto positivo de un 19% para \$4,6 billones a nivel mundial en el 2008 y se pronostica una explosión de los ingresos durante los próximos 5 años y mas allá. [47]

Por otro lado, las inversiones en equipamiento dieron un salto positivo de un 59% en el 2008 a \$3,7 billones a nivel mundial, con un pronóstico de otro salto de 60% en el 2009 a \$5.9 billones. [42]

En cuanto a ingresos se refiere se plantean los aspectos siguientes: [48]

- Los ingresos recolectados por los proveedores de servicios llegaron a \$624 billones en el 2008 (sobre 13% mayor que en el 2007) y se espera llegar a \$877 billones en el 2010.
- Entre el 2009 y el 2013, los ingresos mundiales provenientes de los servicios móviles de banda ancha serán más del doble.
- Mientras los ingresos de los proveedores de servicio a partir de los servicios móviles de banda ancha y los SMS/MMS (mensajes de texto/mensaje de multimedia) crecen rápidamente, los servicios de voz continúan constituyendo la mayor parte de los ingresos de los proveedores de servicios.

- Los ingresos por servicios de voz crecerán lentamente a través del 2013, motivado por el continuo crecimiento de los suscriptores de servicios móviles en países en desarrollo y el movimiento gradual de la voz desde fijo a móvil en los países desarrollados.
- Los ingresos por servicios LTE se pronostican que tendrán un rápido crecimiento alcanzando \$41.7 billones en el 2013 mayormente provenientes de Norte América en el 2012 debido al despliegue por parte de Verizon y AT&T.
- En Asia y el Pacífico el desarrollo del móvil de banda ancha es guiada por los recientes sistemas 3G adoptados por Australia, Japón y Corea del Sur
- En el 2013, los ingresos debido a los servicios W-CDMA/HSPA serán de casi 5 veces los correspondientes a los sistemas CDMA 1xEV-DO, ya que la mayoría de los clientes de servicios móviles en el mundo esta en las redes GSM.
- Se pronostica que el número de suscriptores de servicios móviles de banda ancha llegara a 1billon en el 2013.
- El número total de suscriptores 3G se encontraba alrededor de los 614 millones a finales del 2007 y se pronostica una tasa de crecimiento anual de un 43% en un futuro cercano. Por otro lado un crecimiento del mercado de terminales móviles 3G con una tasa de anual de un 27% sobrepasará los 475 millones de unidades en el 2012. Se espera que el crecimiento en el mercado 3G pueda satisfacer las demandas del pronóstico de tasa de crecimiento anual en cuanto a suscriptores de un 48% para el 2012.
- Se espera que la introducción de femtoceldas traiga por resultado una adopción masiva de la tecnología 3G a nivel mundial. [49]

El costo del backhaul no constituye la única consideración en la migración hacia otras generaciones ya que al igual que en lo relacionado con el tráfico adicional, este debe ser capaz de manipular un rango de nuevas funcionalidades derivadas que incluyen la gestión de la Calidad de Servicio y la Resiliencia. Estos nuevos elementos incrementarán su importancia en la medida en que los operadores migren hacia redes basadas en paquetes. Además, se requiere que los operadores protejan simultáneamente las inversiones en las tecnologías iniciales establecidas por varios años y al mismo tiempo elaboren una estrategia para que el backhaul este preparado para futuro de forma que sea capaz de soportar nuevas generaciones de redes móviles tales como LTE.

Por otro lado, las redes de acceso y agregación que componen el backhaul van

incrementando su utilización para el transporte de tráfico a más de un operador móvil debido a que pueden soportar tanto múltiples servicios como múltiples operadores. Este proceso requiere métodos de separación y seguridad de multiplicidad de tráfico de operadores manteniendo los niveles de los acuerdos de servicios. Se estima que tres cuartos de los sitios celulares 2G y 3G están localizados en un mismo sitio.

Por todo lo anterior, la nueva infraestructura del backhaul debe cumplir con tres criterios principales:

- Debe ser flexible de forma tal que soporte tanto los servicios iniciales de origen basados en TDM como aquellos basados en IP.
- Debe ser escalable de manera que soporte las tecnologías futuras que van emergiendo.
- Debe ser efectivo en cuanto a costos de manera que compense los incrementos de en los niveles de tráfico.

Además, debe ser una red con convergencia para que los operadores no tengan que operar dos redes separadas, aquellas basadas en líneas arrendadas y las basadas en IP. Por estas razones, el backhaul se convierte en el aspecto de valor activo de los operadores móviles y el área de mayores inversiones sobre todo en la medida en que se introducen mejoras de la interfase aérea.

En la tabla 1 de este capítulo se puede observar la magnitud del aumento de las velocidades y la tendencia en cuanto a los tipos de protocolos de transporte correspondientes para las distintas generaciones de tecnologías móviles. De ella se desprende que el rápido desarrollo de los servicios móviles de banda ancha va a imponer nuevas demandas en la interfase de aire de las estaciones base y en las tecnologías en el backhaul, lo que a su vez demandará una transformación en las redes de transporte que implicara la introducción de nuevas tecnologías de transporte y redes de acceso que satisfagan los nuevos requerimientos y funcionalidades que las demandas exigen y en la forma más efectiva en cuanto a costos. Este aspecto, sugiere la evolución hacia una RAN basada en paquetes donde la tecnología basada en IP constituye el método más efectivo y de menor costo [51].

Bajo este criterio el proceso de evolución en general, podría llevarse a cabo bajo dos principios: la construcción de una nueva RAN IP o la transformación gradual, partiendo de las tecnologías existentes. Ambos sobre la base de procesos y plataformas de agregación de tráfico sustentadas en técnicas de emulación de circuitos sobre redes de paquetes y multiplexación estadística.

Por otro lado, las estrategias que se utilicen en el proceso evolutivo deben considerar la permanencia por un periodo largo, de las tecnologías de inicio heredadas y en particular la tecnología GSM, que es la más difundida mundialmente.

Las tecnologías basadas en paquetes que operen en el backhaul móvil deben encaminarse a garantizar un número de aspectos claves, que aseguren un comportamiento apropiado de los servicios mientras optimizan el transporte de los mismos. Estos puntos clave son:

- Garantías en cuanto a retardos y fluctuaciones de fase, lo que requiere ordenación y gestión de los paquetes.
- Priorización de flujo de servicio, lo que se traduce en asignar niveles de prioridad a los distintos servicios de datos.
- Resiliencia, en especial, en la agregación de forma que una interrupción de servicio no cause pérdidas de llamadas.
- Entrega de una señal de reloj estable y una temporización muy precisa para la sincronización de la estación base.

Un último aspecto es la situación mundial actual en cuanto al despliegue de las tecnologías móviles. Los estudios y encuestas demuestran que los sistemas GSM/GPRS/EDGE continúan globalizándose, lo que se demuestra por el incremento de un 14 por ciento del número de operadores comprometidos en el despliegue de redes EDGE en el año 2009. En la actualidad, 487 redes EDGE en 190 países están desplegadas comercialmente. De acuerdo a las investigaciones, dos tercios de los operadores de redes HSPA también han desplegado EDGE. En resumen, existen 503 redes EDGE desplegadas en 195 países. [52]

La tecnología 3G preferida por la mayoría de los operadores y suscriptores en la actualidad y en el futuro es UMTS/HSPA. A finales del 2009, se reportaron 303 redes comerciales HSPA con 454 millones de suscriptores y se proyecta que para finales del 2014 las suscripciones mundiales a HSPA alcancen 2.8 billones. [53]

En cuanto al despliegue de redes con HSPA+ vemos que en la actualidad han entrado en servicio comercialmente 41 sistemas en 26 países, de los cuales 36 soportan una velocidad de datos pico de 21 Mbps y cinco sistemas soportan 28 Mbps en el enlace de bajada. Se pronostica que para finales del 2010, existirán al menos 100 redes HSPA+ en servicio en el mundo donde se incluyen capacidades de 42 Mbps. En la actualidad, existen 325 redes WCDMA comerciales en 135 países de las cuales el 97 por ciento usan HSPA. [54]

Por otro lado, la tecnología LTE se presenta como la vía de unificación del mundo de banda ancha tanto fijo como móvil. En la actualidad, 130 operadores globales han anunciado sus intenciones de evolucionar sus redes hacia LTE. Se pronostica que 22 redes LTE entraran en servicio comercial a finales del 2010 y 37 redes serán habilitadas a finales del 2012. En la actualidad 59 operadores tienen compromisos de despliegue de redes LTE en 28 países. [55]

En el caso particular de América Latina las conexiones móviles sobrepasaron el medio millón en el último cuatrimestre del 2009. La familia de tecnologías GSM-

HSPA ocupa el 91 por ciento de la cuota de mercado con más de 464 millones de conexiones reportadas a finales del 2009. En este mismo año, el número de suscripciones en América latina se incrementó en cerca de 64 millones, de los cuales 9.4 millones son conexiones 3G. Estas tecnologías han tenido un rápido crecimiento en Brasil con 28 millones de conexiones en el 2009. La penetración en América latina excede el 86 por ciento. En el caso de América del Norte, las tecnologías GSM-HSPA continúan añadiendo más suscriptores que cualquier otra con 13.6 millones de nuevos suscriptores en el 2009 y con 8 millones solamente en el último cuatrimestre. [56]

1.8 Conclusiones Parciales.

La problemática mundial para la evolución de los servicios móviles no radica en la existencia y características de las tecnologías que permitan hacer frente a las demandas de tráfico y servicios que devienen en un aumento considerable del ancho de banda. Las tecnologías existen y están disponibles para su despliegue. El problema reside en cómo llevar a cabo el proceso lo más eficientemente posible en cuanto a los costos de inversión y de operación, de forma tal que los ingresos se correspondan cada vez más con las inversiones. En este contexto, el papel principal corresponde al backhaul, que constituye el mayor contribuyente a los gastos. La situación es mas complicada cuando la evolución parte de las redes existentes que en la mayoría de los casos son de tecnología GSM, las que se deben mantener por un tiempo considerable y que utilizan PDH/ SDH en el backhaul, lo que no responde a las demandas de capacidad con eficiencia en cuanto a costos y rapidez. Tal es así que se pronostica que en el 2011, los proveedores de servicios móviles que utilizan PDH, ATM sobre PDH o SDH para las conexiones en su backhaul pagarán aproximadamente de 3 a 30 veces más por servicios de conexión que con otras tecnologías. [50].

Por ultimo, se puede afirmar que la evolución de las tecnologías a nivel mundial responden a la línea GSM/GPRS/EDGE/WCDMA/HSPA/HSPA+/LTE, siendo la tecnología WCDMA con HSPA la mas difundida como 3G.

CAPITULO 2. SOLUCIONES TECNICAS Y ESTRATEGIAS DE APLICACIÓN.

2.1 Aspectos generales.

En este capítulo se exponen las diferentes soluciones y estrategias propuestas mundialmente para llevar a efecto el proceso de evolución de los servicios móviles a nivel mundial. Las mismas se pueden agrupar en tres categorías fundamentales:

- Las soluciones derivadas por instituciones y organismos internacionales y en particular los Forums de IP/MPLS, Banda Ancha y Metro Ethernet (MEF), que se traducen en iniciativas y arquitecturas de referencia, mediante técnicas de transporte determinadas o genéricas y que son homologadas y certificadas por estos organismos.
- Las soluciones particulares que los proveedores de equipos dan para poder evolucionar a partir de las tecnologías propias en operación mediante métodos de optimización y modernización para ser aplicados o añadidos a la tecnología en uso.
- Las soluciones a partir de tecnologías novedosas y personalizadas suministradas por proveedores de equipos y desarrolladas específicamente para cada situación de inicio particular.

2.2 Las Diferentes Soluciones

2.2.1 Soluciones IP/MPLS.

Existen numerosas soluciones dadas por fabricantes utilizando MPLS mediante la utilización de ruteadores particulares, los cuales pueden realizar tanto la agregación como el arribo hasta el sitio celular. En sentido general, las soluciones MPLS están encaminadas a brindar una red de paquetes en el backhaul, donde los servicios originales basados en TDM y ATM son emulados sobre una red de paquetes mediante técnicas estandarizadas o personalizadas de pseudocables o pseudovías.

Una solución de este tipo lo constituye el llamado Transporte Móvil sobre Paquetes (MToP) que utiliza una modalidad denominada Emulación de Circuito sobre Paquetes (CEoP), la que es habilitada mediante tarjetas de adaptación de puerto distribuido a los ruteadores en las redes de agregación o de preagregación. La solución MToP utiliza tecnología basada en los estándares MPLS y proporciona una plataforma basada en IP que puede transportar tráfico IP nativo y tráfico basado en Ethernet al igual que TDM y ATM. Esta solución es efectiva en cuanto a costos y permite a los operadores evolucionar hacia una red de paquetes manteniendo la operación de las redes existentes basadas en TDM y ATM. Las conexiones TDM y ATM se realizan sobre pseudocables constituidos sobre MPLS y mediante los cuales se agrega y transporta tráfico TDM, IP, Ethernet y ATM al

igual que sincronización desde la RAN hasta el núcleo de red. Esta solución incrementa el ancho de banda disponible en el backhaul de forma significativa lo que soluciona las demandas derivadas de la utilización de HSPA. Ya que la modalidad MToP esta sustentada por la infraestructura MPLS puede responder satisfactoriamente a los niveles ascendentes de tráfico, la gestión de la red y las diferentes clases de servicio con una calidad de servicio correspondiente desde las estaciones bases hasta el núcleo de la red. [73], [74]

Por su parte, el Forum IP/MPLS propone la utilización de la tecnología MPLS como solución para el despliegue y la evolución de los servicios móviles hacia nuevas generaciones mediante una iniciativa denominada Iniciativa MPLS en el Backhaul Móvil (MMBI). [57] [58]

Esta se encarga de destacar los beneficios y proponer el uso de la tecnología IP/MPLS como solución en el backhaul móvil ,proporcionando para ello las especificaciones técnicas, estrategias de trabajo y la arquitectura de referencia que debe aplicarse sobre las redes de agregación y de acceso en el backhaul, además de destacar los posibles escenarios para el despliegue y las recomendaciones de cómo realizarlo para cada escenario en particular, constituyendo así una referencia que sirve de guía tanto a operadores como vendedores para la mejor selección de la estrategia y el equipamiento para llevar a cabo la migración, desde redes existentes basadas en tecnologías TDM y ATM clásicas hacia redes mas efectivas, económicas, convergentes y de múltiples propósitos.

Tanto para el caso de Redes Móviles Centralizadas, que es la topología clásica de partida para la evolución como para redes planas, la Especificación Técnica 20.0.0, elaborada por el Forum de IP/MPLS define una Arquitectura de Referencia para la RAN utilizando MPLS. La misma describe las redes de agregación, acceso y de núcleo de un backhaul móvil de acuerdo al tipo de la capa de transporte de red (TNL) que se utilice en las interfases Abis/lub y en correspondencia con las tecnologías de Tercera Generación actuales y a corto término definidas en 3GPP y 3GPP2. Esta arquitectura muestra varios casos del uso de MPLS según sea la capa de transporte que se adopte y la cual dependerá de la generación o generaciones móviles a desplegar. Los casos considerados se exponen en la Tabla 3.

En esta especificación se denominan escenarios a los distintos casos de aplicación de MPLS para cada capa de transporte. Por tanto se definen cuatro escenarios diferentes en correspondencia con las capas de transporte definidas anteriormente.

El Forum IP/MPLS plantea una arquitectura de referencia flexible en el sentido de que las funciones de MPLS para las interrelaciones de trabajo (IW), requeridas para transportar los diferentes tráficos móviles, pueden estar localizadas ya sea en un nodo de extremo (EN), un nodo de acceso (AN), en la compuertas hacia los sitios celulares (CSG) o en las compuertas del sitio de Agregación Móvil (MASG). Por otro lado, la especificación no define ninguna técnica de transporte específica sobre la cual descansa el MPLS y si define que el mecanismo de transporte será

siempre mediante la técnica de Pseudocables (PW) cuando el TNL no es por paquetes. [59]

Tabla 3. Diferentes Tipos de Ran con su TNL correspondiente.

Tipo de Red	Especificaciones	TNL
Redes Centralizadas		
GSM/GPRS/EDGE(2G/2.5G)		TDM
UMTS	R3, R99/R4	ATM
	R99/R5, R6, R7	ATM/IP
CDMA 1x-RTT	IS-2000	HDLC o TDM
CDMA 1x EV-DO	IS-856	IP
Redes Planas		
HSPA, HSPA +	3GPP R7	IP
LTE	3GPP R8	
WiMAX Móvil	Móvil WiMAX con arquitectura R 1.2	

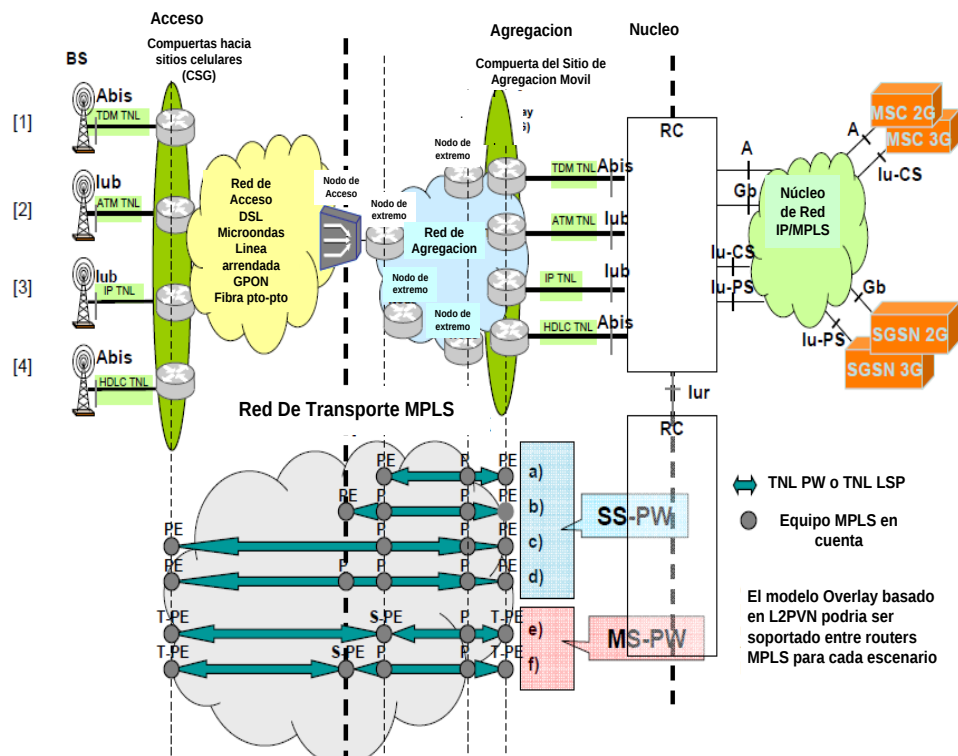
Para cada TNL se define un escenario. Para el caso de las redes centralizadas, se definen cuatro escenarios entre las estaciones base y los controladores. Estos escenarios son: TDM, ATM, IP y HDLC. Cada uno de estos escenarios define a su vez los diferentes casos de análisis, numerados del uno al cuatro respectivamente y que pueden verse en la figura 11 la cual muestra la arquitectura de referencia dada por esta especificación basada en MPLS, y que conecta las estaciones base con los respectivos controladores (RC). Es esta arquitectura están representados los diferentes casos definidos por medio de los cuatro escenarios ya definidos. Además, en esta arquitectura de referencia la localización de las funciones MPLS para los distintos escenarios es flexible, lo que significa que las funciones de interrelación de trabajo (IWF) requeridas para transportar el tráfico móvil, pueden estar localizadas ya sea en el nodo extremo, en el nodo de acceso, en el CSG o en el MASG.

Las distintas localizaciones de las funciones MPLS y su extensión dentro de la red de backhaul dan lugar a diferentes casos de utilización y son los siguientes:

- Transporte MPLS portando un TNL entre un nodo extremo (EN) y el MSAG por medio de un pseudocable de un solo segmento (SSPW).
- Transporte MPLS portando un TNL entre un nodo de acceso (AN) y el MSAG por medio de un pseudocable de un solo segmento (SSPW).
- Utilización de transporte MPLS entre el CSG y el MASG con el AN transparente ante MPLS. Se establece un pseudocable con un solo segmento que porta un TNL entre el CSG y el MASG actuando como proveedor extremo (PE) mientras que todos los nodos MPLS en la red de agregación actúan como enrutadores tipo P.

- d) Utilización de transporte MPLS entre el CSG y el MASG con un nodo de acceso (AN) conciente ante MPLS. Se establece un pseudocable con un solo segmento que porta un TNL entre el CSG y el MASG actuando en AN y los dispositivos MPLS en la red de agregación actúan como enrutadores tipo P.
- e) Un pseudocable de segmentos múltiples (MS PW) que porta un TNL es establecido entre el CSG y el MASG actuando como proveedor extremo de terminación (T-PE) mientras que el Nodo de extremo (EN) actúa como un dispositivo proveedor extremo de conmutación (S-PE).
- f) Un pseudocable de segmentos múltiples (MS PW) que porta un TNL es establecido entre el CSG y el MASG actuando como proveedor extremo de terminación (T-PE) mientras que el Nodo de Acceso (AN) actúa como un dispositivo proveedor extremo de conmutación (S-PE).

Los diferentes casos de utilización aparecen representados en la parte inferior de la figura 11.



Nota: Cada Estacion base (BS) puede soportar multiples capas de transporte (TNL), mientras que cada Compuerta para Sitio Celular puede conectar multiple Estaciones Base.

Figura 11. Arquitectura de Referencia para redes Centralizadas acorde al TNL.
Fuente: Forum IP/MPLS

Para el caso de redes móviles con topología plana, solo se considera el transporte (TNL) del tipo IP. Este caso se aplica a sistemas móviles del tipo LTE y WiMAX y la arquitectura de referencia se destina para la transmisión de IP mediante

IP/MPLS en un backhaul móvil, que debido a la topología de las redes planas debe considerar la conectividad tanto entre las estaciones bases y los controladores o compuertas de acceso como entre las mismas estaciones base. Las soluciones de conectividad para este caso son mediante Servicios LAN Privados Virtuales (VPLS) ya sea por Capa 2 como Capa 3 para lograr una conectividad multipunto a multipunto.

2.2.2 Solución Carrier Ethernet

Esta solución es propuesta por el Forum Metro Ethernet (MEF) el cual se encarga de la adopción mundial de redes y servicios Ethernet del tipo Carrier, que no es más que la introducción de atributos adicionales basados en hardware y software sobre el Ethernet nativo convirtiéndolo en una tecnología de gran extensión y alta velocidad con una extrema y probada confiabilidad. Las tecnologías de este tipo se les denominan como carrier-class. El trabajo del Forum Metro Ethernet es descrito mediante especificaciones técnicas que habilitan la funcionalidad y los atributos del Carrier Ethernet en asociación con estándares. Las especificaciones continúan refiriéndose a las Redes Metro Ethernet pero esto solo constituye un término genérico que abarca las redes de servicio habilitadas en la creciente variedad de redes de acceso, metro y de largo alcance.

Los atributos que distingue al Carrier Ethernet del Ethernet basado en LAN son: Servicios Estandarizados, Escalabilidad, Fiabilidad, Calidad de Servicio y Servicio de Gestión. [60], [75], [76], [88].

Debido a estos atributos, las redes basadas en Carrier Ethernet constituyen un servicio ubicuo capaz de proporcionar líneas privadas simples y virtuales y servicios punto a punto, punto a multipunto y multipunto a multipunto, tanto global como locales mediante equipos estandarizados, lo que no requiere cambios en los equipos LAN de los clientes si no que se acomoda a la conectividad existente, como puede ser el tráfico y la señalización TDM. El ancho de banda es escalable en grandes incrementos hasta más allá de 10 Gbps. Esta tecnología se destaca por su fiabilidad y calidad de servicio, brindando además, un servicio de gestión de clase superior con un servicio de provisión rápido. En este trabajo se utilizara, siempre que sea posible, el termino MEN para identificar la red Carrier Ethernet.

El MEF ha indicado los requerimientos específicos para aplicaciones en el backhaul móvil y los ha denominado Acuerdos de Implementación del Backhaul Móvil (MBIA) constituidos en una especificación técnica bajo el indicativo de MEF 22 y destinada a orientar como implementar Carrier Ethernet en el backhaul móvil y como aplicar al mismo, las especificaciones ya existentes y los estándares industriales para cumplimentar los requerimientos en la RAN. [61]

Esta especificación constituye un guía para la implementación técnica. Los objetivos claves de MBIA se basan en preservar los ingresos derivados de los

servicios de voz con una transición que soporte las tecnologías de origen y una evolución hacia tecnologías 3G y 4G. Para ello emite recomendaciones para el diseño de redes, arquitectura y operación de redes para el Backhaul Móvil basadas en transmisión de paquetes.

Por otro lado MBIA introduce varios términos para los elementos de la arquitectura del backhaul móvil destinados a la descripción de nuevos sistemas móviles basados en paquetes pues estos sistemas introducen nuevos elementos que necesitan ser nombrados y definidos en forma inequívoca, de forma que se establezca un lenguaje común que asegure una definición consistente de los requerimientos de los elementos de la red. Estos términos están definidos como estándares de MBIA para asegurar una convención con consistencia en las denominaciones a través de las industrias, de forma que los proveedores de servicio y los vendedores de equipos adopten estos términos para evitar confusiones en relación a cuales requerimientos son relevantes a los diferentes niveles de arquitectura y servicios de la red de paquetes. Otro aspecto que cumplimenta MBIA es explicar como aplicar las especificaciones existentes del MEF y los estándares industriales para que cumplan con los requerimientos en la RAN. MBIA se basa en las especificaciones: MEF 6.1 en cuanto a la definición de servicios Ethernet, MEF 10 en cuanto a los atributos del servicio Ethernet y MEF 13 y 20 en cuanto a los tipos de interfases UNI.[62], [63], [64], [65]

El modelo de referencia utilizado por el MEF para la implementación considera el intercambio entre el backhaul móvil y una red Carrier Ethernet por tanto, en este modelo el backhaul esta constituido por una simple red Metro Ethernet (MEN) que conecta los nodos móviles. Estos nodos son denominados como **RAN CE** que se traduce como Extremo del Cliente en la RAN y es el término genérico con que se identifica un nodo o sitio de una red móvil. Los mismos pueden estar constituidos por un simple controlador o un sitio compuesto por varios controladores de diferentes tecnologías en cuyo caso la denominación será **RAN NC**, también puede ser una estación base o un sitio compuesto por varias estaciones base de diferentes tecnologías y en este caso se le denominara como RAN BS. Al **MEN** se pueden conectar varios números de RAN NC y RAN BS. Por tanto, la solución dada por el MEF no tiene en cuenta subdivisiones de la RAN ni define áreas de agregación o de acceso, simplemente todo el backhaul lo constituye una red Metro Ethernet con las interfases necesarias adecuadas a los nodos móviles de acuerdo a los diferentes casos. La siguiente figura es la representación del el modelo de referencia.

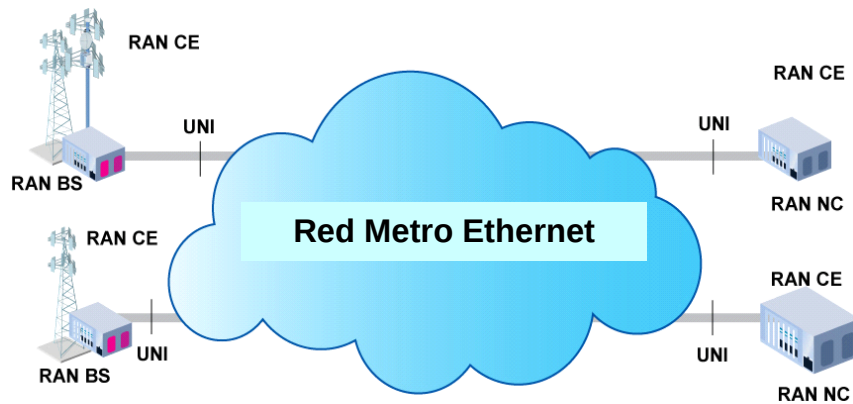


Figura 12. Modelo de Referencia del MEF para el Backhaul Móvil. Fuente MEF22

El MBIA identifica cuatro escenarios de despliegue genérico que abarcan las principales posibilidades de despliegue a corto y largo término y partir de los cuales se orientan el establecimiento los parámetros para el comportamiento y la calidad del servicio, las opciones de sincronización, los mecanismos de recuperación y protección y los servicios de Operación y Mantenimiento de Ethernet. Adicionalmente se definen las funciones genéricas de inter-operación (GIWF) para que el tráfico de origen TDM sea transportado eficientemente sobre redes Ethernet.

Básicamente existen dos modos principales: El caso 1, que asume que, ni los controladores ni las estaciones base poseen interfaces Ethernet y por tanto requieren de una función interoperativa denominada Función de Inter-Trabajo Genérica y abreviada GIWF y que proporciona la adaptación y la interconexión entre interfaces TDM de los equipos móviles de origen en la RAN y las UNI Ethernet existentes en la red Carrier Ethernet. Este caso es representativo de la situación corriente en una red móvil donde hay una disponibilidad limitada de elementos con interfaces Ethernet y la mayoría de las estaciones de radio instaladas estas basadas en TDM o ATM. El caso 2 asume que tanto los controladores como las estaciones base soportan interfaces Ethernet los que significa que pueden ser conectadas directamente a la Red Metro. Ambos casos se presentan en dos vertientes; con o sin redes de origen presentes. Las siguientes figuras ilustran los diferentes casos.

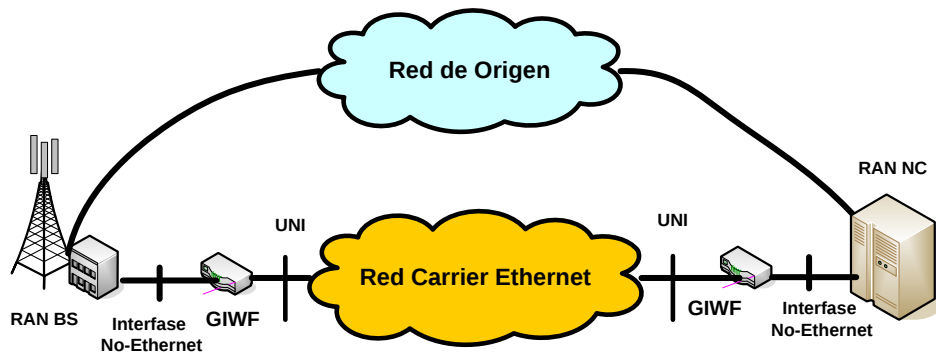


Figura 13. Caso 1a. Acomodo de paquetes sobre Carrier Ethernet.

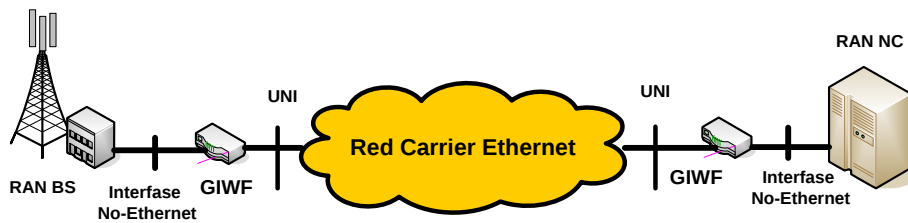


Figura 14. Caso 1b. Emulación sobre Carrier Ethernet.

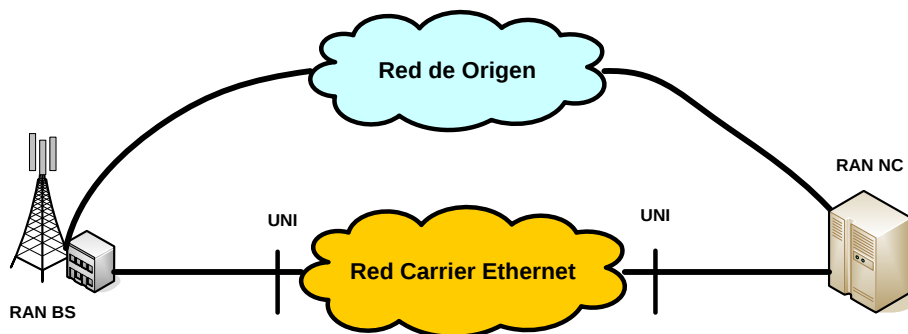


Figura 15. Caso 2a. Dualidad de RAN.

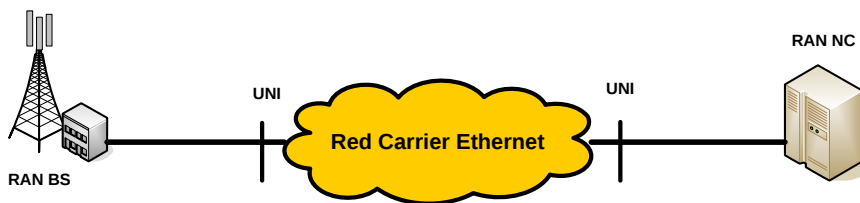


Figura 16. Caso 2b. Todo Ethernet

El caso 1a ilustra un escenario de acceso donde existen dos redes paralelas. Una es la red de origen (digamos GSM) y la otra es la red MEN las cuales transportan diferentes tipos de tráfico móvil. Este caso es utilizado cuando se quiere que el tráfico de baja prioridad y ancho de banda grande de la red de origen sea transportado por la red MEN por razones de adaptación a las demandas de la red. El caso 1b describe un escenario donde las redes de origen han sido sustituidas por una red Metro y donde los controladores nodos de la RAN son conectados a la red Metro mediante funciones GIWF. En este caso, todo el tráfico de la RAN es transportado sobre la red Metro usando servicios Ethernet.

Los casos 1a y 1b representan despliegues donde tanto las radio bases y los controladores respectivos no pueden ser conectados a la interfase Usuario-Red (UNI) debido a que no poseen interfaces Ethernet, como en el caso GSM, por lo que las interfaces se representan como No-Ethernet en las Figuras. Por este motivo estos casos requieren ser conectados mediante una función genérica GIWF que a su vez se conectara a las interfaces UNI. Las interfaces Usuario-Red se encargarán de definir los servicios y la sincronización según las especificaciones MEF 13 y MEF 20, mientras que las funciones GIWF se encargaran de la adaptación y la terminación entre las estaciones bases y los controladores. Se utilizará emulación de circuitos para el caso GSM de acuerdo a lo especificado en MEF8 aceptándose variantes como TDMoMPLS según MFA, SAToP según RFC4553 y CESoPSN de acuerdo a RFC5086. En los casos UMTS/WCDMA se utilizará la tecnología de pseudocable de acuerdo a las especificaciones dadas por el Forum IP/MPLS al cual el MEF esta asociado. [66] Estos casos se aplican también para la migración o transición inmediata a Carrier Ethernet separando la voz y los datos del backhaul o integrando ambos en la red Carrier Ethernet.

Los dos últimos casos ilustran, la conexión de los nodos de la RAN (RAN CE) directamente a la UNI mediante una interfase Ethernet eliminando la necesidad de una función GIWF. El caso 2a es similar al 1a en cuanto al tráfico a desviar por ambas redes.

El caso 2b muestra la situación donde todo el tráfico es transportado por medio de servicios Ethernet sobre la MEN. La forma en que sean realizados estos servicios dependerá de la tecnología móvil que se emplee, el tipo de equipo, los requerimientos del operador y el tipo de servicio que este presta

Los servicios que se especifican para el caso del backhaul móvil son los siguientes:

1. Servicio Ethernet de Línea Privada.
2. Servicio Ethernet de Línea Privada Virtual.
3. Servicio Ethernet de LAN Privada.
4. Servicio Ethernet de LAN Privada Virtual.
5. Servicio Ethernet de Privado en Árbol.
6. Servicio Ethernet de Privado Virtual en Árbol.

Estos servicios se abrevian genéricamente como Línea-E, LAN-E y Árbol-E.

En una red Carrier Ethernet los datos son transportados mediante Conexiones

Virtuales Ethernet (EVC) de acuerdo a los atributos y definiciones de los diferentes servicios. La descripción de los mismos se puede ver en las especificaciones MEF 6.1 y MEF 10.

La siguiente Tabla expone todos los casos posibles para el caso del backhaul móvil.

Tabla 3. Servicios Ethernet sobre el Backhaul Móvil

Tipo de Servicio	Basado en puertos	Basado en LAN (Multiplexados)
Línea-E (E-Line) (EVC punto a punto)	Línea Privada Ethernet (EPL)	Línea Privada Virtual Ethernet (EVPL)
LAN-E (E-LAN) EVC multipunto a multipunto)	Línea Privada LAN (EP-LAN)	Línea LAN Privada Virtual (EVP-LAN)
Árbol –E (E-Tree) (EVC Multipunto)	Línea Privada en Árbol (EP-Tree)	Ethernet en Árbol Virtual Privado (EVP-Tree)

Se debe destacar que cuando la solución para el backhaul mediante Metro Ethernet se realiza utilizando IP/MPLS, las especificaciones que el MEF propone son aquellas establecidas por el Forum IP/MPLS.

Otras firmas que proponen soluciones en el backhaul basadas en las especificaciones de MEF y que fueron analizadas en este trabajo son: Nokia – Siemens, Ciena, Harris Stratex, Ericsson, Overture Networks, Celtro y Juniper Networks.

2.2.3. Soluciones por Optimización de RAN

Esta solución es para el caso donde se desea evolucionar desde GSM hacia 3G incluyendo también la mejora por HSPA. La misma consiste en la optimización de la RAN para la transmisión de servicios múltiples mediante una plataforma de red optimizada y de propósitos generales específicamente diseñada para ser usada en redes móviles inalámbricas y a su vez especializada para optimizar, agregar y transportar mezcla de tráfico, compuesto por varias generaciones sobre la RAN y en particular para GSM y UMTS. La misma extiende la conectividad de tráfico de voz, datos y señalización sobre IP hasta los sitios celulares utilizando circuitos E1/T1 tradicionales ya sean líneas arrendadas, microondas y satélite o también redes alternativas como DSL, EFM y Metro Ethernet. Además, soporta los protocolos de Internet basados en los estándares de la IETF sobre las redes de transporte de la RAN incluyendo aquellas que son estándares del 3GPP para transporte en la RAN.

El proceso utiliza algoritmos de optimización propietarios basados en IP

comprimida y el uso de técnicas mejoradas y definidas de emulación por pseudocable y multiplexado estadístico. La agregación se realiza fundamentalmente a partir de compresión del tipo cRTP/cUDP y multiplexado de paquetes MPPP, lo que resulta en una eficiencia de compresión de un 50 por ciento en el tráfico correspondiente a GSM, por tanto, el backhaul optimizado de este modo sólo necesitará la mitad del número de enlaces T1/E1 para transportar el mismo tráfico GSM. Por otro lado, sobre el tráfico 3G a nivel de la interfase lub se eliminarán las celdas inactivas así como el contenido de relleno no utilizado, lo que resultará en una mayor eficiencia al nivel de esta interfase. Este tráfico comprimido es posteriormente agregado dinámicamente mediante IP sobre un reducido número de troncos E1/T1 lo que resulta en una utilización y distribución de los recursos de la RAN mas eficiente. La característica usual en GSM de la subutilización del ancho de banda E1 es aprovechada aquí para su utilización en la reasignación de la capacidad resultante para otros tráficos como aquel asignado a 3G.

La optimización es llevada a cabo mediante equipos diseñados a tal efecto por los suministradores, generalmente enrutadores y conmutadores, donde los protocolos y técnicas de compresión , multiplexado estadístico y emulación son propietarias de cada uno pero en que en general tienen independencia en cuanto a suministradores lo que los hace compatibles hasta en aquellos casos en que las especificaciones de las interfases entre los controladores y las estaciones base sean propietarias, constituyendo una solución transparente sin degradación de la calidad de la voz y que no requiere cambio alguno ni en el control ni en el software asociado con BTS/BSC o Nodo B/RNC. [67], [71], [72].

En la práctica se logra una eficiencia de ancho de banda en el Abis de GSM entre un 33 y un 50 por ciento, lo que se corresponde con una ganancia en la capacidad de llamada GSM de un 50 a un 100 por ciento por T1/E1, en dependencia de la naturaleza del tráfico en la interfase. Por tanto, se logra maximizar la densidad de tráfico de voz y datos por T1/E1. Esta solución puede extender su conectividad IP a dispositivos que utilizan GSM/GPRS/EDGE, Nodos B con utilización de HSPA y hasta LTE en sus estaciones base. [68].

La optimización de la RAN se lleva a cabo también mediante técnicas aplicadas específicamente en la interfase Abis mediante diferentes procedimientos que tienen una misma base y objetivos, estos se denominan:

- Optimización de la Interfase Abis
- Convergencia óptima
- Abis IP
- Vinculación Virtual.

2.2.3.1 Optimización de la Interfase Abis

Aquí se realiza un arreglo del tráfico al nivel de 64 kbps lográndose ganancias de tráfico de hasta 3:1 para la interfase Abis. Esto se logra mediante algoritmos de optimización propietarios que eliminan las redundancias de tráfico, tramas vacías,

tramas de silencio y patrones constantes en el tráfico de voz, datos y señalización. La información relevante se empaqueta en Capa 2. El tráfico es posteriormente multiplexado estadísticamente. En las redes 2G que están evolucionando hacia 3G, este mecanismo soluciona la convergencia de tráfico por medio de la eliminación de ineficiencias en los protocolos de transporte, el multiplexado estadístico del tráfico y la distribución dinámica de los recursos de la red entre los servicios 2G y 3G manteniendo una estricta Calidad de Servicio en todos. Otra modalidad consiste en que el tráfico y la señalización en la interfase Abis van a ser enviados como tramas LAPD sobre una estructura denominada súper-canal compuesta por un número consecutivo de intervalos de tiempo de 64 kbps pero estructurados como una conexión de banda ancha, en lugar de utilizar intervalos de tiempo dedicados. De aquí se deriva que en esta modalidad el concepto de intervalos de tiempo de 64kbps de un enlace E1/T1 deja de ser válido para dar lugar a una conexión de banda ancha a 2 Mbps donde las tramas LAPD son enviadas en forma de paquetes comprimidos. De esta forma, tanto el tráfico como la señalización comparten la conexión de banda ancha llevándose a cabo una ganancia de multiplexación estadística. Varios Súper Canales pueden integrar la conexión formando un grupo de súper canales. El sincronismo no se pierde debido a que el soporte del súper-canal sigue siendo un enlace E1/T1. La optimización del Abis se implementa a partir de equipamiento especializado para este fin o adiciones de bloques funcionales en el BSC y las estaciones base así como modificaciones del software propuestas por los fabricantes, principalmente aquellos que producen la tecnología GSM de origen a partir de la cual se va a evolucionar. [69], [77], [78], [87]

Esta solución es dada por casi todos los líderes mundiales en tecnologías móviles, en particular Ericsson, Huawei, ZTE y Cisco

2.2.3.2 Convergencia Óptima.

Esta consiste en una optimización en una escala mayor, también en la interfase Abis, con la cual se logra, mediante los procesos ya descritos un flujo de razón de bit variable empaquetado sobre ATM o MPLS para adaptarlo a la tecnología de agregación en el backhaul. Todos los servicios son multiplexados estadísticamente para maximizar la ganancia estadística y compartir dinámicamente los recursos en el backhaul, sobre una base de priorización de la Calidad de Servicio. Un escenario clásico de su utilización lo podemos ver a partir de la siguiente figura.

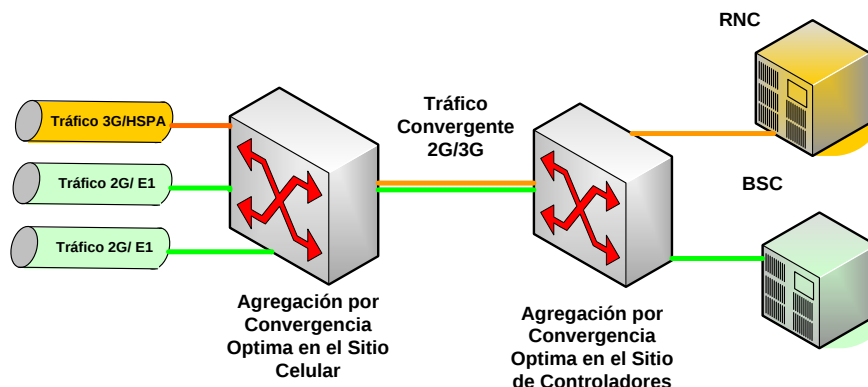


Figura 17. Ejemplo ilustrativo de Convergencia Óptima.

En ella se puede ver los beneficios de la Convergencia Óptima sobre un escenario donde se evoluciona hacia 3G a partir de la infraestructura existente 2G. y donde el sitio celular es inicialmente conectado por dos E1 para el tráfico 2G y es ampliado para 3G requiriendo un E1 adicional. Con este proceso, todo el tráfico 2G /3G se transporta sobre los dos E1 existentes. Por tanto, tres E1 (dos para 2G y uno para 3G) son trasladados sobre dos E1 sobre la infraestructura existente 2G. Los beneficios de esta solución se resumen en una mayor eficiencia de la red, mayor capacidad debido a la optimización del tráfico y una ganancia estadística tanto para 2G como 3G/HSPA. Esto permitirá una rápida introducción de nuevos servicios y mejor entrega de estos gracias a la posibilidad de distribución dinámica de los recursos en el backhaul de todos los servicios. [87]

2.2.3.3 Abis sobre IP

Esta modalidad consiste en la utilización de redes de transmisión IP para la transmisión entre los controladores y las estaciones bases correspondientes, en lugar de utilizar redes TDM. La misma soporta IP sobre Ethernet y también sobre E1/T1 pero las redes de transporte intermedias pueden utilizar en principio, cualquier tecnología disponible. Para implementar el Abis sobre IP inicialmente debe implementarse en algún modo, la Optimización de Abis ya referida y adicionalmente adicionar unidades en el BSC para el manejo de tráfico IP conjuntamente con aquellas que se encargarán de brindar interfases IP sobre Ethernet.

Comparando con las redes TDM, la modalidad de Abis sobre IP proporciona una capacidad de transmisión significativamente mayor por recurso de ancho de banda ya que utiliza la misma estructuración de paquetes de la modalidad de Optimización de Abis. El ancho de banda es utilizado mas eficientemente permitiendo que la voz, la señalización y los datos compartan la misma conexión de banda ancha. Los recursos de trasmisión solamente son ocupados en la medida en que sean utilizados activamente. Esto es lo que permite compartir el transporte con otros servicios como son los de 3G.

Una vez que las interfases Abis y Lub están operando sobre IP estas son

conectadas a un enrutador de agregación que a su salida proporciona el agregado de tráfico de ambas tecnologías sobre IP/Ethernet lo que puede ser transmitido hacia las BTS mediante una red IP o mediante la red TDM existente utilizando, en este ultimo caso, un enrutador dedicado que trabaja como puente entre interfaces Ethernet por un lado y ML-PPP por el otro. Cada grupo ML-PPP puede estar compuesto hasta de 8 E1/T1 Del lado de los sitios celulares se necesitan habilitar un nodo de transporte, que no es mas que el equipamiento de red usado por las radio bases para el transporte IP en la RAN. Esta función esta implementada como parte integrante de algunos tipos de RBS. En los casos en que esto no es posible esta funcionalidad es llevada a cabo por una unidad de integración propietaria que es una implementación mediante hardware de la funcionalidad. [79], [80], [81] [82]

Esta solución es dada por casi todos los lideres mundiales en tecnologías móviles, en particular Ericsson, Huawei ,ZTE y Cisco.

Un ejemplo donde se pueden ver las soluciones anteriores para un caso GSM/WCDMA se muestra en la siguiente figura.

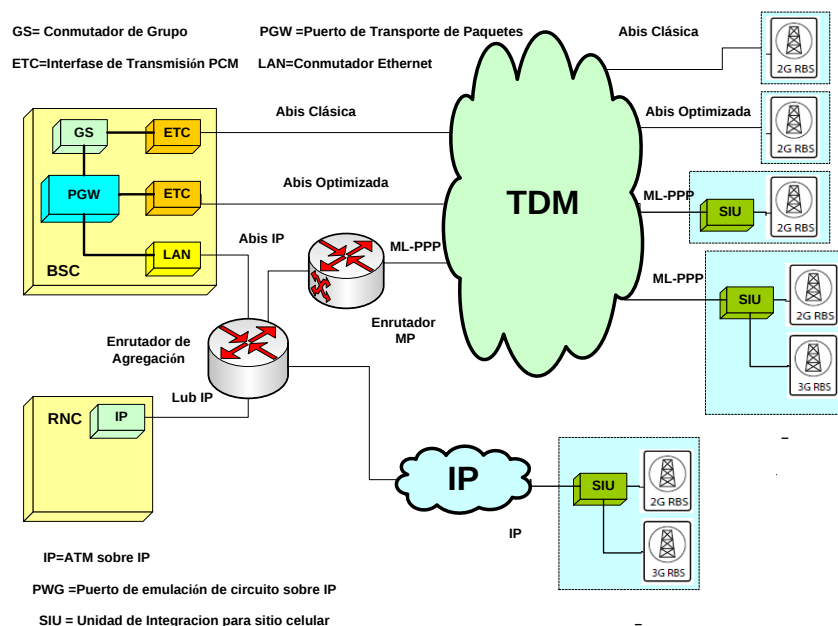


Figura 18. Soluciones posibles para un caso GSM/WCDMA

2.2.3.4 Vinculación Virtual.

La Vinculación Virtual es un método poderoso para el escalamiento de la capacidad del backhaul principalmente hacia HSPA utilizando la infraestructura existente. Este método consiste en vincular o ligar varios enlaces que utilizan varias tecnologías de acceso sobre un rango de infraestructuras físicas en un simple conducto extremo a extremo a través de una red de backhaul móvil. Mientras todas las soluciones de vinculación convencionales agregan tráfico sobre enlaces idénticos y utilizando la misma infraestructura, la vinculación virtual puede

ligar una variedad de enlaces separados físicamente y transportados por redes diferentes que utilizan diferentes tecnologías de acceso todo sobre un conducto virtual en el backhaul con una capacidad acumulativa y un valor pico de la razón de entrega igual a la capacidad acumulativa y los picos de razón de entrega de todos los enlaces vinculados. Debido a que este proceso se basa en capas superiores se pueden superar las disparidades de la infraestructura entre enlaces vinculados de forma tal que estos pueden portar ATM o IP/Ethernet o una combinación de tráfico ATM en algunos enlaces e IP/Ethernet en otros. Además, pueden utilizar diferentes capas físicas, incluyendo cobre, fibra y microondas y también pueden ser simétricos o asimétricos o una combinación de los dos. Todos los enlaces vinculados virtualmente entre los sitios celulares y el RNC componen un Grupo Vinculado Virtual (VB-G), cuyos rasgos principales son:

- **Distribución de Carga:** La carga de tráfico es distribuida entre todos los enlaces VB para proteger el tráfico en caso de fallo del enlace.
- **Prioridad de Enlace:** La utilización de los enlaces VB puede ser priorizada lo que asegura el uso de los enlaces de más alto comportamiento para maximizar la experiencia del usuario.
- **Control de Flujo y Adaptación de tasa de velocidad:** mediante los cuales se evalúa, en tiempo real, el desempeño real de cada enlace asegurando una distribución óptima del tráfico sobre los enlaces disponibles maximizando así la eficiencia de la red previniendo así la degradación de servicio.

La siguiente Figura muestra un ejemplo en el cual un canal HSPA utiliza VB para transportar tráfico de backhaul sobre tres enlaces diferentes: uno portando tráfico simétrico ATM con un E1, otro enlace simétrico SHDSL con tráfico Ethernet y un enlace asimétrico ADSL también con tráfico Ethernet. Los tres enlaces VB son transportados separadamente ATM esta a través de una red ATM/SDH y los xDSL a través de un acceso de banda ancha y una red Metro Ethernet. El tráfico proveniente de todos los enlaces virtuales es anexado en el RNC para reconstruir el tráfico HSPA original. El proceso aquí descrito se lleva a cabo mediante conmutadores que actúan como equipos terminales. El proceso aquí descrito es una solución propietaria de la firma Celtró. [84], [85], [86], [89], [90].

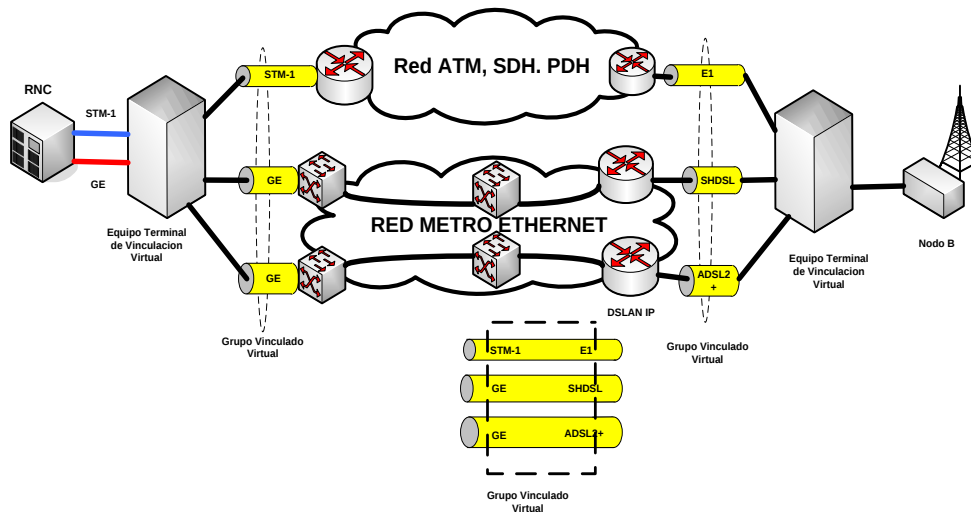


Figura.19 Ejemplo de implementación de Vinculación Virtual.

2.2.3.5 Distintos escenarios de aplicación.

- Escenarios de Optimización del backhaul TDM para GSM y UMTS.

Este escenario se caracteriza por el despliegue a partir de las redes GSM existentes T1/E1. Mediante optimización de RAN se logran distintos valores del factor de eficiencia con la introducción de servicios IP en los sitios celulares, producto de la recuperación de capacidad en el backhaul resultante del proceso de optimización. Se utilizan el mismo número de enlaces T1/E1 que existían originalmente para GSM. Un ejemplo gráfico de solución para una eficiencia de optimización de 4:3 se puede ver en la figura. Este escenario es conveniente cuando se quiere desplegar las tecnologías múltiples sobre la infraestructura existente sin tener que realizar gastos en nuevas líneas además de la reducción de gastos por el tiempo de realización de la inversión. [69]

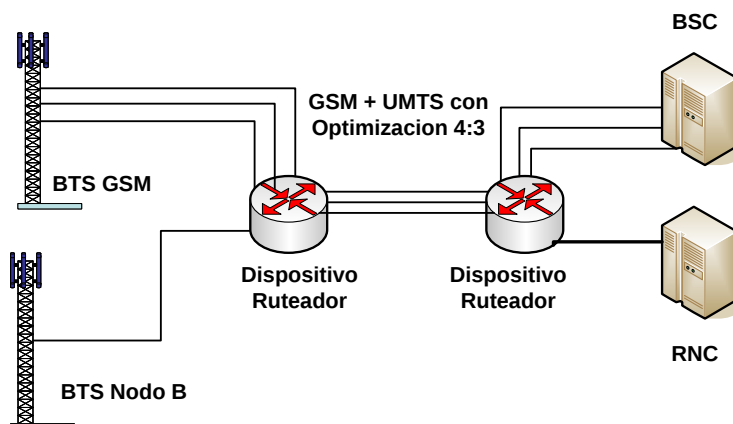


Figura 20. Escenario de optimización TDM.

- Escenarios de Backhaul Alternativo.

Cuando las demandas de ancho de banda se incrementan a un gran ritmo o se introducen tecnologías para la mejora del espectro en las interfases de aire, lo que se traduce en aumentos bruscos en las disponibilidades de ancho de banda, las soluciones se apoyaran en otras tecnologías lo que se conoce como backhaul alternativo.

En este caso, los enrutadores y dispositivos deben operar en protocolos basados en IP, de forma tal que sea posible el entramado de las tramas de voz y datos en paquete IP y transportarlos transparentemente a través de una red IP apropiada, como Metro Ethernet, XDSL o WiMax. Esta solución proporciona una Calidad de Servicio y mejoras en cuanto a pérdidas y retardos con una notable reducción en los gastos de operación. Por otro lado esta solución exige requerimientos estrictos en cuanto a la sincronización, aspecto crucial en el backhaul móvil y que no presenta problemas en un transporte TDM ya que en este caso el reloj se transmite en forma nativa a través de la red. Sin embargo, en redes de paquetes de naturaleza asincrónica hay que crear mecanismos para el transporte de reloj con exactitud y con un mínimo consumo de ancho de banda. En la figura se muestra un ejemplo para un escenario de backhaul alternativo. [70]

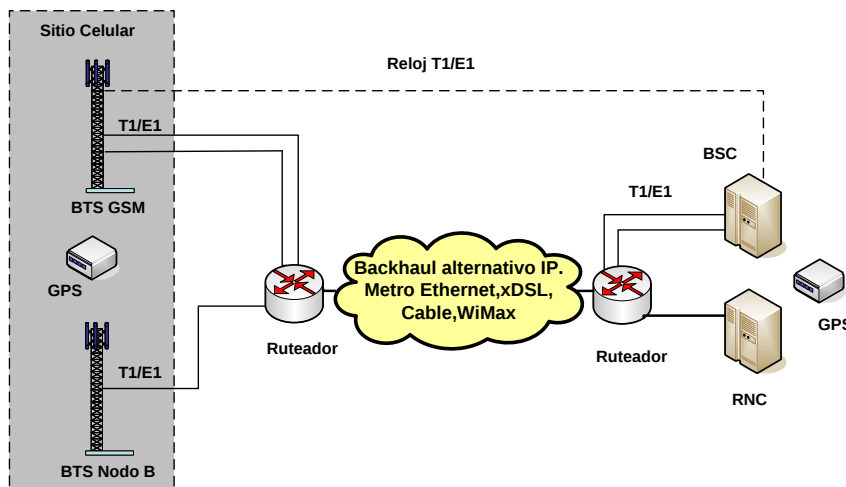


Figura 21. Escenario de backhaul alternativo.

- Escenario de Backhaul Alternativo con Mejora por HSPA.

La introducción de mejoras en UMTS para satisfacer las demandas de servicios se han visto traducidas en la tecnología HSPA la cual necesita un ancho de banda adicional al nivel del sitio celular que responda a las necesidades crecientes basadas en los clientes. En términos generales, la introducción de HSPA necesita para su implementación 2 E1 adicionales, lo que aumenta los costos significativamente si la solución es la de optimización IP en backhaul TDM. Para este caso la solución viene dada por la utilización de un backhaul alternativo para

el transporte del tráfico HSPA mientras que el tráfico de voz debido tanto a GSM como UMTS se mantiene por el backhaul T1/E1 optimizado. Esta solución tiene las ventajas, aparte de los costos, de mantener la información de sincronismo a través de la red optimizada TDM y sirve como punto de partida para la migración de todos los servicios hacia la red de paquetes. La figura muestra un esquema de esta solución. [70]

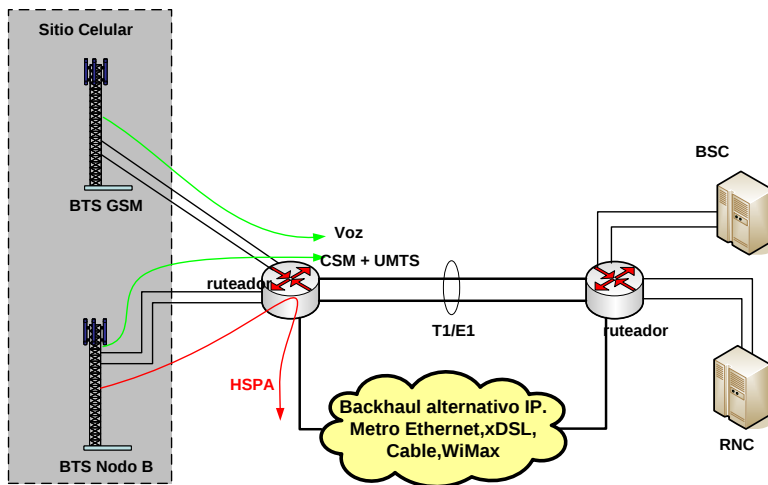


Figura 22. Escenario de backhaul alternativo con desvío para HSPA.

2.2.5 Soluciones por Ran unificada y SDR

Esta es una solución reciente basada dirigida hacia 3ra y 4ta generaciones de estaciones base denominado Simple RAN Definida por Software para 3G/2G que une la concepción de Simple RAN con la tecnología de Radio Definido por Software (SDR).

El concepto de Simple RAN disminuye considerablemente los costos para los operadores que van a evolucionar hacia UMTS/HSPA y LTE desde redes existente GSM al brindar un marco de trabajo sobre una sola red de convergencia horizontal con varios tipos de accesos dentro de un elemento. Esta solución puede satisfacer las demandas de voz, servicios de datos de mediana razón de entrega y servicios de banda ancha. La solución de “una única red” permite la realización del acceso de tipo Nube o “Nube de Acceso” que es una de las más importantes tendencias en vías de desarrollo en la industria de las comunicaciones móviles.

La solución de Simple RAN se apoya en el concepto de redes de doble modo GSM y UMTS que es introducido en las BTS para que soporten acceso de radio multi-modo y la habilidad de componer una red con todos los accesos unificados. Con esta plataforma mejorada de simple servicio, la calidad de servicio puede ser mantenida, y nuevas aplicaciones pueden ser introducidas rápidamente. La

concepción de Simple RAN aporta una verdadera solución viable al mundo celular y en general al inalámbrico. En la siguiente Figura se ilustra el concepto de Simple RAN.

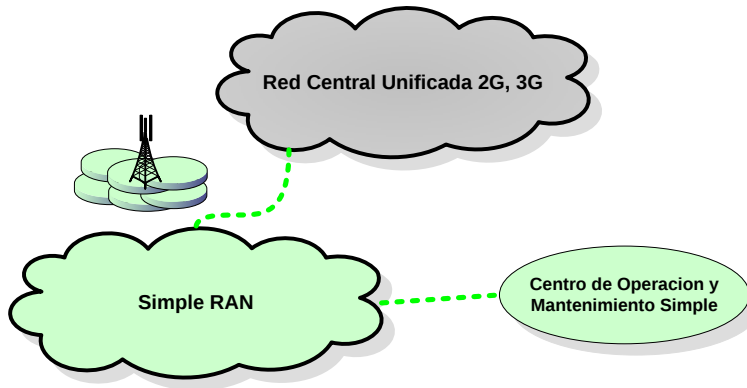


Figura 23. Diagrama esquemático de Simple RAN.

La RAN tradicional se presenta compuesta de redes separadas para cada tecnología que operan simultáneamente, con todos los inconvenientes que trae en cuanto a costos, construcción de sitios y antenas, mantenimiento y tiempos de adquisición considerables en los sitios.

Para el caso de Simple RAN se puede ver que todos los accesos de radio convergen en cierto punto, por lo cual solamente existirá un solo controlador. Como resultado de ello, las capas de red se simplifican y los nodos decrecerán significativamente. Para lograr una verdadera solución deben materializarse dos factores claves. El primero de ellos consiste en edificar una plataforma potente y unificada para la BTS y el segundo consiste en modularización y estandarización de la unidad de radio. En la siguiente Figura se ven representados estos factores mediante la combinación en una sola BTS, de las unidades de radio GSM, UMTS y LTE pertenecientes a la Simple RAN formando una plataforma unificada y que asegura que las unidades pueden ser combinadas a discreción y que pueden compartir una sola unidad de banda base.

De esta forma, cuando las demandas cambian, los operadores pueden ajustar las unidades de radio de la BTS para que cambien las capacidades de servicio [91]

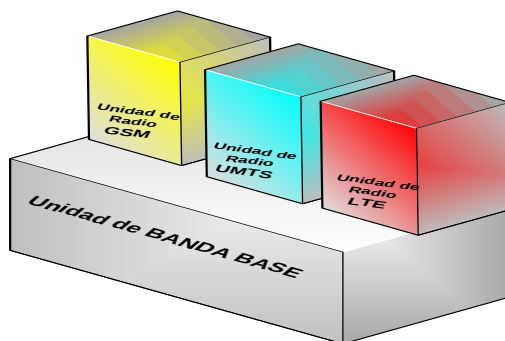


Figura 24. Plataforma Unificada en BTS para Simple RAN.

Para llevar a cabo las funciones en la estación base de forma tal que se comporte como simple RAN es necesario que se establezca una plataforma de hardware común. Esto se logra introduciendo el concepto de Radio Definido por Software abreviado SDR. [92]

SDR define un sistema de telecomunicaciones donde componentes típicas de hardware son implementadas en software y se aplica principalmente en la banda ancha móvil en estaciones base reconfigurables que pueden ser actualizadas mediante software hacia tecnologías y estándares futuros. Este termino cubre una gran cantidad de tecnologías y soluciones, desde una estación base reconfigurable hasta sistemas que se pueden adaptar a nuevas tecnologías o nuevas frecuencias sobre la marcha sin que el sistema sufra interrupciones.

SDR constituye la evolución de la tecnología de la estación base y se define como un sistema donde varias funciones, típicamente implementadas en hardware, son implementadas en cambio en componentes de software modificables que corren mediante un procesamiento poderoso y flexible usualmente llevado a cabo mediante circuitos y microprocesadores denominados Arreglos Programables Flexibles (FPGA) y Procesamiento Digital de Señales (DSP). Donde la flexibilidad permite nuevas que funciones sean implementadas sin requerimientos adicionales. La siguiente figura ilustra los bloques funcionales genéricos de una implementación típica SDR

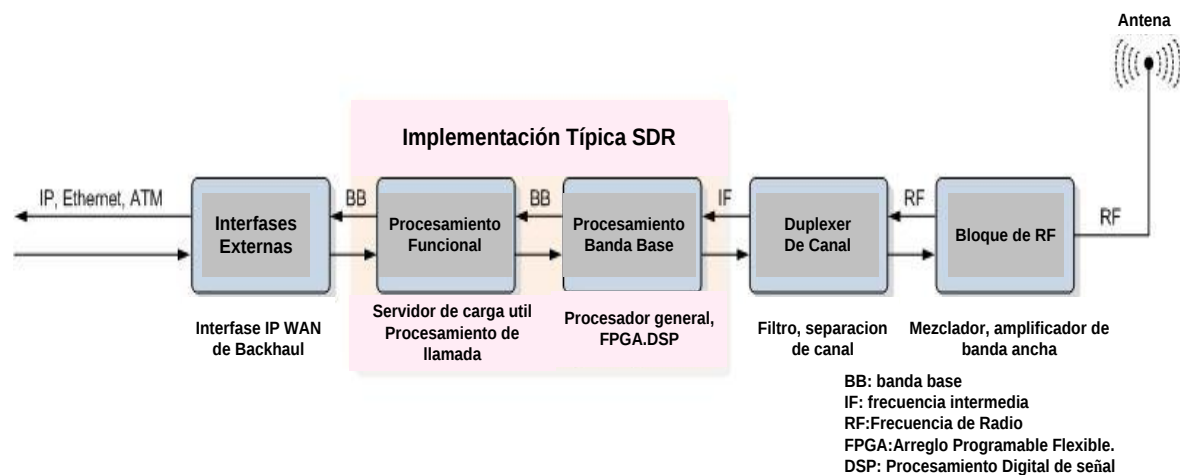


Figura 25. Implementación Típica SDR.

SDR constituye un concepto nuevo que permite tener una red simple, mas eficiente con una vía de evolución garantizada hacia futuras tecnologías mediante la satisfacción de ciertos requisitos en la estación base como son:

- Suficiente ancho de banda que le permita operar con varias interfases de aire en la misma banda de frecuencia para permitir correr simultáneamente GSM y UMTS a la misma frecuencia en una misma plataforma de hardware.

- Poseer capacidades de procesamiento actualizables para futuras interfases de aire
- En los casos en que se operan GSM y 3G en frecuencias adyacentes SDR proporciona una plataforma simple de hardware. En este caso se necesitan dos unidades de RF y el procesamiento de banda base será compartido.

SDR puede ser usado en varios escenarios pero los beneficios más significantes se obtienen cuando es desplegado como una plataforma de hardware común sobre la cual operan dos o más tecnologías. El mayor interés es el de utilizar una misma plataforma para GSM y 3G. Esta solución esta disponible en las tecnologías Ericsson, Huawei y ZTE. [92].

2.2.6 Soluciones por Microondas.

Estas soluciones pueden ser total o parcialmente inalámbricas. En la actualidad es la solución mas utilizada mundialmente sobre todo en nuevas implementaciones.

La solución por microonda a menudo proporciona un menor costo en la inversión y recuperación fundamentalmente cuando no existe una infraestructura en el sitio de la estación base. Por otro lado proporciona un despliegue rápido muy atractivo en cuanto a costos. Lo mas utilizado actualmente es su despliegue inicial mediante microondas hasta que la red se integre posteriormente se integre mediante fibra.

A pesar de los escasos recursos, las últimas tecnologías de microondas poseen una eficiencia de transporte superior así como rendimiento en el espectro disponible. La utilización de nuevas bandas es un aspecto que ha contribuido considerablemente al uso eficiente de las microondas, en particular la banda E. Por otra parte, tenemos la posibilidad de operación con transporte por paquetes lo que elimina las limitaciones impuestas por las jerarquías PDH y SDH. Otro aspecto a favor de la eficiencia espectral es la posibilidad de prácticamente doblar la capacidad espectral mediante el uso de doble polarización co-canal con cancelación de interferencia por polarización cruzada (XPIC). La eficiencia espectral se puede mejorar aun más mediante el uso de esquemas de modulación de alto orden a expensa de la ganancia de sistema pero que puede compensarse mediante el uso antenas de alta ganancia, caso donde los gastos son un compromiso entre el costo del sistema de radiación y la ganancia del sistema.

Los operadores prefieren poseer sus propios enlaces que arrendar facilidades de transporte.

Las nuevas generaciones de microondas con transporte de Ethernet. Soporte de QoS y modulación adaptativa ofrecen una única vía de proporcionar transporte de tráfico por mejor esfuerzo en combinación con tráfico TDM lo que además, soporta la evolución del transporte basado en paquetes en la red de acceso de radio.

Las soluciones mediante microondas tienen un uso extensivo y a nivel mundial aproximadamente un 60% de las estaciones base están conectadas mediante esta técnica.

Esta tecnología introduce un plano de paquetes de datos que soporta un agregado de tráfico IP de más de 2 Gbps realizando el enrutamiento del tráfico Ethernet directamente entre un conmutador Gigabit Ethernet (GE) y los conjuntos de moduladores/demoduladores de radio por paquetes de forma tal que se logre la mayor eficiencia y mínima latencia. Los modos de operación pueden ser mixto (Ethernet + TDM) o todo Ethernet.

En el modo mixto, se produce una transportación conjunta de TDM y Ethernet nativo lo que equivale revestir la red TDM con Ethernet y donde este último se utiliza para responder al rápido crecimiento de demandas. Esta es una estrategia que tiene su mérito si se mira desde el punto de vista de maximizar la infraestructura existente TDM mientras se minimizan los riesgos de introducción de una nueva tecnología. Esta solución es más efectiva en cuanto a costo que el cambio desde un principio hacia una red todo Ethernet y además estará preparada para una migración total hacia Ethernet cuando sea necesario. La siguiente figura ilustra este modo de transmisión.

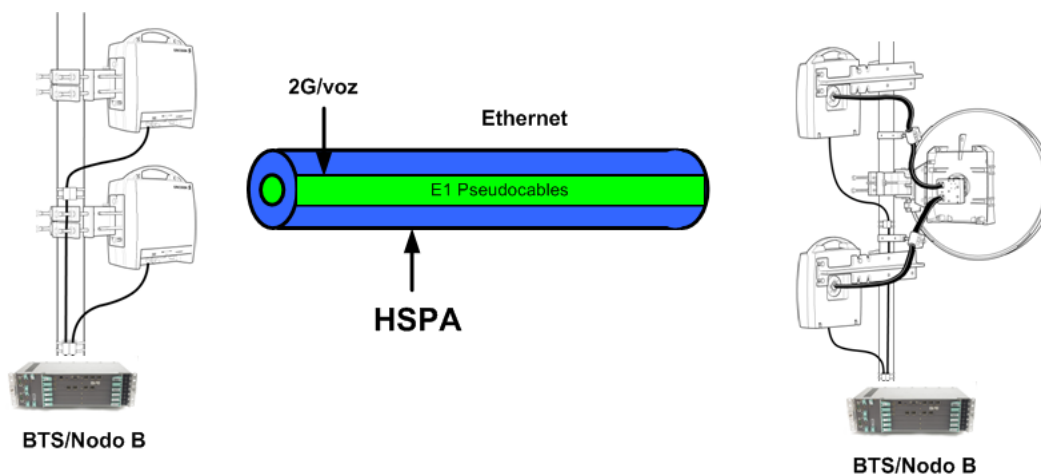


Figura 26. Modo de Transmisión Mixto TDM/Ethernet.

Un nodo de radio puede manejar alrededor de seis enlaces de radio según el tipo que se utilice.

Cada enlace de radio puede ser configurado para una capacidad en el aire de 380 Mbps y con las técnicas de optimización existentes en esta tecnología se puede elevar a 540 Mbps en L1. Esto quiere decir que se puede establecer un nodo de transmisión inalámbrico que conecta hasta seis sitios celulares con una capacidad de tráfico de hasta 540 Mbps y donde los sitios pueden estar constituidos por varias tecnologías. Cada nodo está optimizado para posibilitar una solución para la migración desde TDM hacia Ethernet en forma sencilla y efectiva en cuanto a costo. La solución más efectiva es la transmisión de Ethernet y TDM en forma conjunta en enlaces híbridos en el modo mixto, y con la posibilidad de cambiar la relación entre Ethernet y TDM en cualquier instante.

También es posible la migración de todo TDM hacia TDM + Ethernet y finalmente hacia todo Ethernet sin pérdida de eficiencia en el transporte. En la configuración híbrida la voz corre sobre TDM mientras que los datos; lo hacen sobre Ethernet. La capacidad del nodo puede alcanzar valores de más de 2 Gbps donde el operador puede configurar la distribución de capacidades entre PDH y Ethernet localmente o remotamente, lo que significa que la activación de Ethernet se puede realizar de acuerdo a las necesidades del backhaul sin interrupciones. Existen también opciones para trabajar con SDH. La operación en el modo mixto proporciona varias posibilidades de tráfico en el nodo inalámbrico como son la protección 1+1 y el cierre de anillos tanto y protección de estos tanto para Ethernet como N x E1.

Como se ha dicho, el nodo de paquetes inalámbrico puede trabajar también en el modo Todo Ethernet. En esta solución, la trama Ethernet es optimizada lo que extiende su desempeño a 410 Mbps en L2 y a 540 Mbps en L1 por enlace de radio. Este nodo cumple con los requerimientos del MEF en cuanto a las especificaciones dadas en MEF 9 y MEF 14 lo que lo categorizan como tecnología del tipo Carrier-Grade y le permite operar conjuntamente con otros dispositivos de esta clase.

Esta solución optimiza los datos Ethernet para el logro de calidad y eficiencia de espectro en las transmisiones mediante las siguientes técnicas:

- **Supresión de IFG y Preámbulo.** Que consiste en reducir la cantidad de bytes utilizada para el transporte de Ethernet extremo a extremo eliminando o comprimiendo sobre el enlace los bytes que no porta carga útil reintegrándose en el extremo final. Aquí se reemplazan 20 bytes por 4 lo que trae una mejora en el rendimiento de un 23 por ciento en tramas de 64 bytes y de un 6 por ciento en aquellas de 260 bytes.
- **Compresión de encabezamiento MAC.** Aquí se reemplazan 12 bytes por 2 bytes lo que cuando se adiciona a los resultados de la técnica anterior representa un incremento total en el rendimiento de un 45 y un 10 por ciento en tramas de 64 y 260 bytes respectivamente.
- **Ganancia por Multiplexación Estadística;** Este es un proceso de multiplexar un número de enlaces Ethernet en un enlace común que posee una capacidad menor que la capacidad combinada de los enlaces individuales, tomando ventaja del comportamiento en ráfagas del tráfico IP donde algunas ráfagas de usuario se corresponden periodos inactivos de otros usuarios amortiguando de este modo las variaciones en el tráfico de agregado consumiendo valores pico de ancho de banda inferiores. Se pueden lograr ganancias del orden de 30 por ciento en particular en las redes Ethernet de backhaul donde el tráfico de múltiples sitios es agregado en un “conducto” común.

Para el transporte del tráfico de origen sobre Ethernet se utilizarán Pseudocables, los que proporcionan un medio para la encapsulación de los circuitos E1 para su transporte por Ethernet. El nodo puede soportar:

- E1 sin trama de acuerdo al método SAToP.
- E1 con trama de acuerdo al método CESoPSN
- HDLC sobre E1 de acuerdo a RFC 4618.

La operación de pseudocable según los estándares IETF son usados aquí para asegurar la interoperación con equipos de otros proveedores.

Esta solución también proporciona la opción de que el nodo inalámbrico se comporte como un LSR en el extremo de una red MPLS. Con esta opción se etiquetará tráfico hacia el núcleo MPLS o a la inversa, será el último punto de la red a direccionar tráfico hacia la estación base. Este puede estar localizado en la misma estación base o en el sitio del nodo de agregación.

Desde el ángulo del equipo de radio propiamente dicho, esta tecnología posee una serie de mecanismos para garantizar la calidad de las transmisiones en cuanto a capacidad y eficiencia espectral en cualquier circunstancia de propagación. Estos mecanismos son los siguientes:

- **Modulación y Codificación Adaptativa (ACM);** Consiste en la utilización de diferentes esquemas de modulación acorde a las condiciones del salto de radio que garantice su capacidad y su disponibilidad de servicio, lográndose una disponibilidad de un 99.5% a la máxima capacidad. La modulación adaptativa es el ajuste dinámico de la tasa de modulación para asegurar que un ancho de banda máximo de datos este disponible la mayor parte del tiempo con un ancho de banda disponible todo el tiempo. Cuando es utilizada conjuntamente con priorización de tráfico sobre la base de la Calidad de Servicio (QoS), permite su configuración de forma tal que se asegure que todo el tráfico priorizado continúe en el trayecto cuando las condiciones de propagación se deterioran, descartándose solamente el tráfico de baja prioridad. La conmutación entre esquemas de modulación se efectúa sin errores. La Codificación Adaptativa utilizada en la modulación puede proporcionar dos posibilidades de operación diferentes: una para máximo desempeño y otra para máxima ganancia. La primera se encarga de maximizar el rendimiento en la entrega de datos a expensas de alguna ganancia de sistema mientras que otra proporciona la mejor ganancia de sistema a expensas del rendimiento de este. La modulación adaptativa constituye un elemento que adapta el enlace de radio a las condiciones de desvanecimiento de la señal recibida mediante esquemas de modulación. De esta forma, entregara diferentes tasas de bits para diferentes condiciones atmosféricas. En la figura a continuación se puede ver como la capacidad del enlace puede incrementarse desde 40 hasta 160 Mbps incrementando el orden de la modulación de 4 a 128QAM. Con modulación adaptativa el enlace de radio se puede dimensionar par proporcionar una disponibilidad de un 99.999% para 40 Mbps destinado al tráfico de alta prioridad. La capacidad restante destinada al tráfico por mejor esfuerzo posee una disponibilidad reducida de 99.95%.

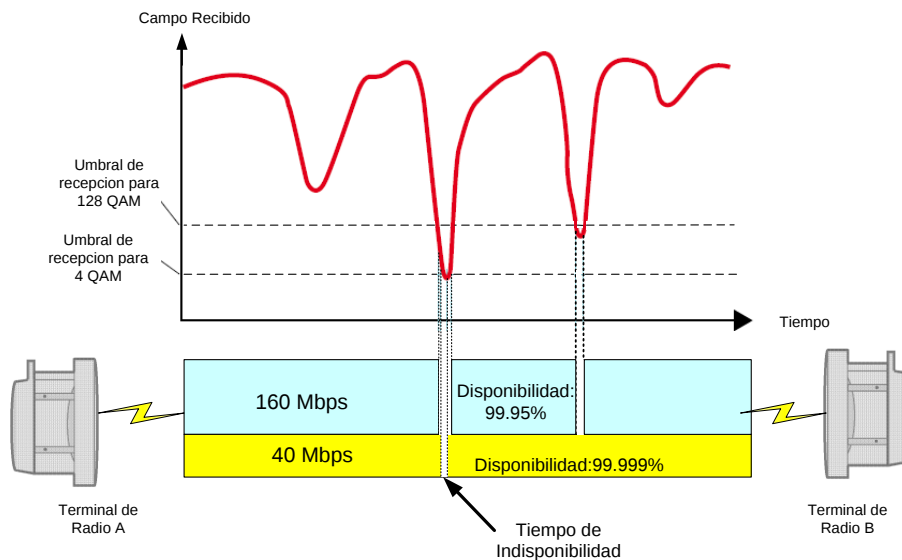


Figura 27. Capacidad y Disponibilidad de enlace en función del esquema de modulación.

- **Operación del enlace con Doble Polarización Co- Canal;** Se utiliza en situaciones donde el incrementando del ancho de banda del canal y/ o incrementando la tasa de modulación no proporcionan la capacidad necesaria, es posible duplicar la capacidad inalámbrica sobre el mismo canal mediante el uso de doble polarización co-canal, denominada CCDP que opera como dos enlaces de comunicación en paralelo que operan a la misma frecuencia del canal de RF; uno con polarización horizontal y el otro vertical
- **Agregación de enlace en L1 o L2;** Esta es una opción que se utiliza para combinar dos o mas enlaces en un enlace lógico único para proporcionar una capacidad de tráfico que es la suma de los enlaces individuales y es una solución relevante para los enlaces inalámbricos donde se requiere capacidades de tráfico superiores al máximo posible para un canal de radio en un enlace. Esta modalidad se utiliza también para proporcionar redundancia que sirva de protección ante fallos del enlace. Esta agregación de enlace puede ser tanto en Capa 2 como Capa 1 como opciones.

Las firmas más sobresalientes en esta tecnología son Aviat Networks, Tecore Networks, Ericsson y Alcatel. [93]

2.2.7 Solución por pares de cobre.

Existen una gran cantidad de sitios celulares que son servidos por facilidades de

cobre. El objetivo es brindar servicios Ethernet de alta velocidad sin pérdida de los rasgos de temporización de una red TDM. La tecnología propuesta para dar esta solución se denomina Gran Conducto Flexible abreviado BFP (**B**ig **F**lexible **P**ipe) y que permite a los operadores la transición de sus redes de backhaul móvil de TDM a Ethernet. La tecnología BFP entrega cualquier mezcla de Ethernet y TDM nativo sobre cobre. La tecnología BFP es una alternativa de alto rendimiento y patentada al transporte por pseudocable (PWE3) o puede complementar PWE3 sobre transportes de fibra óptica de alta capacidad. BFP ofrece un multiplicador de ancho de banda de hasta 10x para transporte elástico tanto en tráfico Ethernet como TDM sobre múltiples pares de cobre.

BFP entrega un ancho de banda significativamente grande y permite a los operadores priorizar y asignar dinámicamente ancho de banda a una mezcla de tráfico de voz y datos cambiantes en sus facilidades agregadas sobre el transporte del backhaul. De igual forma, proporciona un conducto significativamente grande en cobre tradicional, con suficiente flexibilidad, portando capacidad y resiliencia para cumplimentar las demandas de servicio actuales y futuras. Esta tecnología esta optimizada para 2G, 2,5G o 3G en redes de backhaul TDM N x T1/E1 y ATM/TDM permitiendo una transición hacia una RAN todo Ethernet y redes 4G.

Un aspecto significativo de BFP es que la capacidad asignada a datos es aumentada mediante reasignación dinámica del ancho de banda priorizado para voz que no es usado. La siguiente figura ilustra esta cualidad.

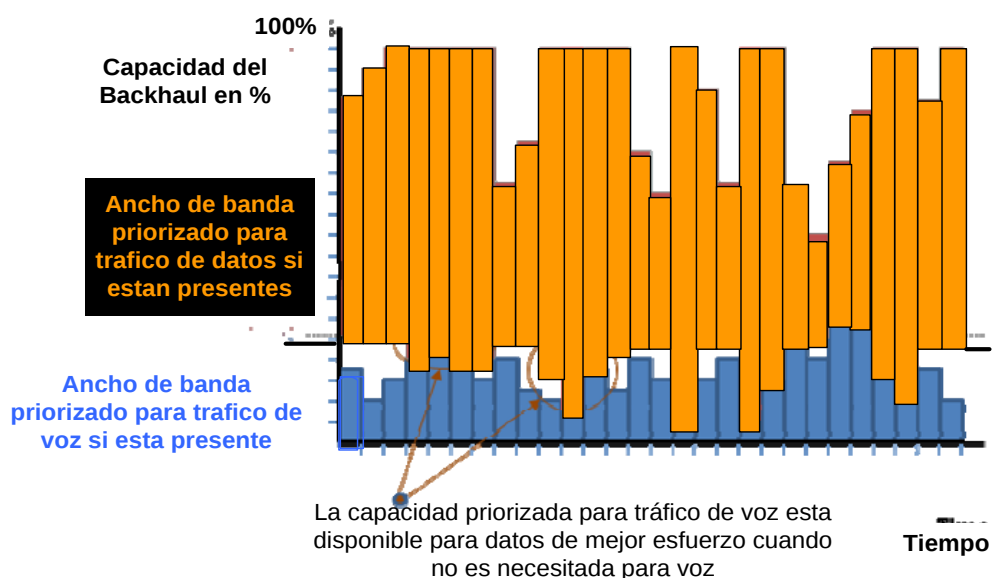


Figura 28. Mejoramiento de la utilización de la red mediante BFP. Fuente: Hatteras.

Con BFP los operadores pueden usar la sincronización probada con TDM mientras portan también tráfico Ethernet nativamente. Cantidades específicas de ancho de banda pueden ser dedicadas al tráfico de voz para mantener objetivos de servicio. La tecnología BFP garantiza que el tráfico TDM nunca sea interferido

por el tráfico Ethernet.

La mayoría de las redes basadas en cobre presentan situaciones dinámicas donde los niveles de tráfico fluctúan constantemente. Adicionalmente, las variaciones en las condiciones del tiempo pueden impactar el entorno de operación. Por otro lado, la distribución espectral, esta repleta de interferencias, atenuaciones, fluctuaciones rápidas y latencia lo que traen perturbaciones en el camino de transporte. En estos difíciles ambientes la mayoría de las aplicaciones de control móviles necesitan un mejor rendimiento que el que típicamente ofrece PWE3 sobre todo cuando se trata del control del proceso de transferencia de llamada entre celdas diferentes.

La tecnología PWE3 es excelente para llevar a cabo emulación de circuitos y llevar voz sobre Ethernet y se comporta muy bien sobre facilidades de fibra óptica de gran ancho de banda pero no es así sobre redes de acceso basadas en cobre de velocidad relativamente baja,

Debe tenerse en mente que la tecnología BFP no intenta remplazar la tecnología PWE3 si no complementarla en un área específica de la red. Se recomienda BFP como el mecanismo a proporcionar servicios entre controladores y sitios celulares. Una vez en el sitio de los controladores, la tecnología PWE3 puede proporcionar emulación TDM sobre conexiones ópticas de alta velocidad y alta calidad.

Esta solución aparece fundamentalmente en Norte América donde el 89% de los sitios celulares son servidos solamente por T1 sobre facilidades de cobre.

Los aspectos destacados de la tecnología BFP pueden resumirse a los siguientes:

- Interacción de costos al usar una única facilidad de transporte para que todo el tráfico de backhaul sea efectuado.
- Cualquier mezcla de tráfico TDM y Ethernet puede ser soportado óptimamente por el BFP.
- El 100% de ancho de banda esta disponible en el backhaul independiente de la mezcla de tráfico.
- Los operadores pueden usar la ya probada sincronización TDM mientras portan también tráfico Ethernet nativo.
- Cantidades específicas de ancho de banda pueden ser dedicadas al tráfico de voz para mantener objetivos de servicio.
- La capacidad asignada a datos es aumentada mediante reasignación dinámica de ancho de banda de voz no usado.

BFP es una tecnología propietaria de Hatteras Networks. [94] [95]

2.2.8 Solución por Satélite.

Cuando los sitios celulares están muy alejados de los controladores la tecnología de acceso preferida es la microonda siempre que el acceso a ellas sea fácil y que

la distancia no requiera varios repetidores intermedios. Pero muchas áreas remotas donde se desea llevar el servicio móvil están tan alejadas que no es conveniente llegar a ellas por microondas por el número de repetidores necesarios y la vulnerabilidad que esto representa, además de que en algunos casos no es posible, por la geografía del terreno, establecer un enlace visual punto a punto. Es en estos casos donde la solución por satélite es ideal ya que este tipo de transmisión es independiente de la distancia, puede desplegarse rápidamente y es inmune a los inconvenientes que imponen las localidades remotas y los obstáculos terrestres. Esta solución ha sido utilizada hace años en el caso GSM utilizando conexiones tradicionales del tipo simple canal por portadora (SCPC) que proporciona conectividad punto a punto E1/T1 la que se considera muy cara ya que esta conexión requiere todo el ancho de banda del canal SCPC aun cuando no exista tráfico en el sitio celular. Cuando se trata de evolucionar hacia otras tecnologías que requieren un ancho de banda superior, la variante anterior no es apropiada lo que ha hecho que la transmisión a través de los satélites sea mediante IP o Ethernet y como consecuencia, la interfase Abis/lub debe operar en IP o en general, por paquetes además de las mejoras introducidas en la transmisión en la tecnología satelital. En sentido general, la conectividad en el backhaul mediante salto simple por satélite puede ser de dos tipos:

- A nivel de torre. En este caso cada torre celular esta se conecta individualmente al satélite y este con el núcleo de red
- A nivel de concentrador. En este caso, todos los sitios celulares se conectan a un concentrador y este a núcleo de red mediante el satélite.

En la siguiente figura se puede ver un esquema de los diferentes tipos de conectividad.

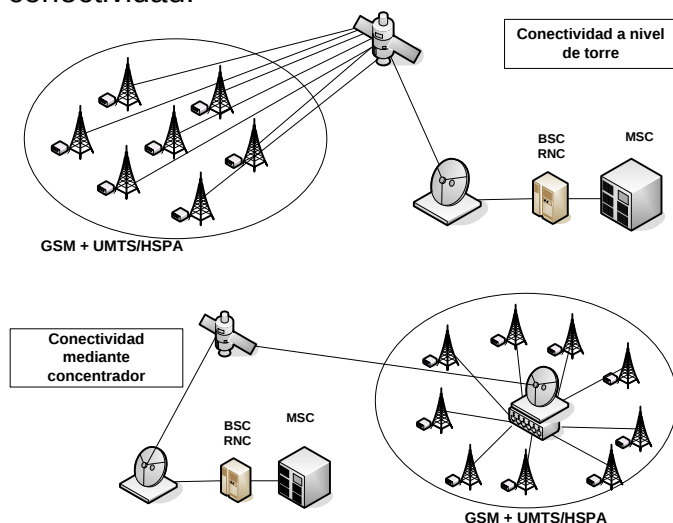


Figura 29. Diferentes tipos de conectividad para un backhaul móvil satelital

En los inicios y para el caso actual en GSM, los satélites utilizados eran del tipo

geoestacionarios (GEO). Este tipo de satélite tiene su órbita aproximadamente a 35,000 Km. lo que lo hace costoso debido a la distancia que tienen que viajar las señales y la potencia requerida para la transmisión. Por otro lado, el factor distancia hace que la latencia sea alta y aunque sus valores son aceptados para la voz en GSM no lo son para sistemas de tercera generación. Por este motivo, los satélites utilizados para soluciones del backhaul móvil son del tipo de Orbita Media (MEO) que tiene una órbita de alrededor de 8,000 Km. Por este motivo, son los apropiados para las soluciones de backhaul aplicadas a 3G ya que debido a la distancia de su órbita la latencia esta en valores aceptados por estas tecnologías y el costo para el despliegue de redes 3G es significativamente menor que el caso tradicional GEO. Se considera que el costo de implementación 3G mediante esta variante es comparable con la solución por microondas sin impedimentos para enlaces visuales o las necesidades de acercamiento a estructuras de fibra. Estos satélites se utilizan en constelaciones compuestas por varios de ellos que conectan transparentemente múltiples estaciones base a sus controladores y permite también la conectividad de estos últimos con los MSC respectivos. Cada satélite esta equipado con varios haces movibles con una huella de alrededor de 500 Km. Donde dos de ellos son dedicados a la conectividad permanente como telepuertos para el reporte y control y los restantes se apuntan, configuran e interconectan de acuerdo a los requerimientos de los usuarios. Las diferentes configuraciones de los haces son fundamentalmente de dos tipos:

- Haz en lazo. En esta configuración cada transponder esta fijado a una localización y el tráfico que le llega es retransmitido por él mismo en la dirección contraria. Esta configuración es aplicable a áreas de 500 Km. Y permite conectividad tanto a nivel de torre como de concentrador. Cuando se requiere mayor cobertura se pueden hacer arreglos con los haces de forma que varios de ellos se solapen y se coloca el concentrador en el medio.
- Haz cros-conectado. Este caso se utiliza cuando se requiere una amplia cobertura, en particular cuando no es posible la conectividad de todos los sitios celulares con el núcleo de red. En esta configuración, el satélite opera de forma tal que agrega o cros-conecta tráfico proveniente de múltiples haces destinados tanto a sitios celulares como concentradores y lo baja por un haz simple hacia el núcleo de red. El tráfico originado en el núcleo será entonces difundido mediante los haces activos.

La siguiente figura ilustra los casos de configuración anteriores.

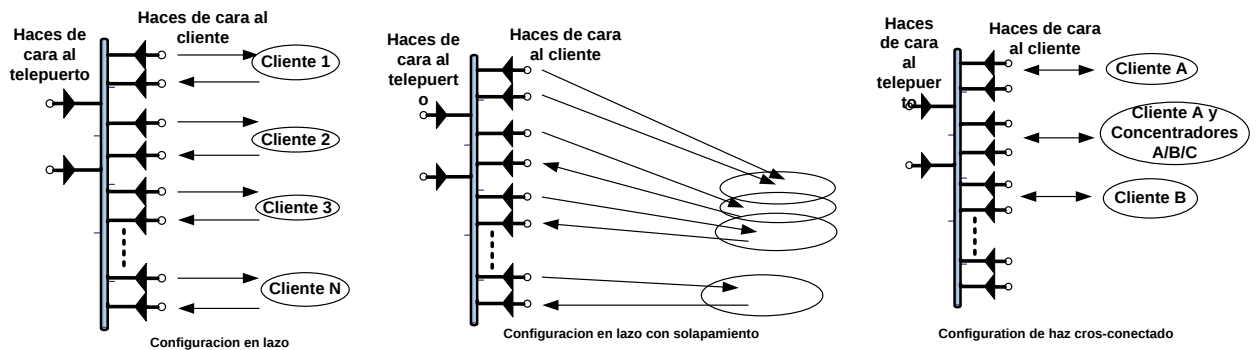


Figura 30. Distintas Configuraciones de satélites MEO.

En general la utilización de satélites para la implementación del backhaul no ofrece

- Rápida conectividad
- Fácil instalación
- Las demandas de tráfico son acomodadas desde la red sin tener que ir a los sitios.
- Control centralizado
- Gestión en tiempo real
- Solución muy ventajosa en lugares con desastres o condiciones climáticas desfavorables.

A diferencia del caso GSM que utiliza SCPC y donde hay una ocupación permanente del ancho de banda independientemente de las necesidades de tráfico, aquí se utiliza la modalidad de Ancho de Banda por Demanda (BoD) donde la asignación de ancho de banda es dinámica, lo que trae una economía hasta un 80% del uso del segmento satelital. [96], [97], [98].

2.3 Estrategias.

En relación con las estrategias a seguir para el despliegue de las nuevas tecnologías y servicios, estas se analizan primeramente en relación con las redes ya existentes, lo que se traduce en decidir convenientemente, sobre todo en cuanto a costos, si el transporte en el backhaul se realizará mediante redes separadas para cada tecnología, redes separadas entre voz y datos o una sola infraestructura de transporte para todos los casos de tráfico y generaciones a implementar. Aquí también se tiene en cuenta si la evolución se realizara sobre las redes TDM/SDH de origen, nuevas redes como son las basadas en paquetes o ambos casos según convenga. La estrategia considera también el despliegue por etapas partiendo primero de infraestructuras separadas y luego transitar hacia una sola tecnología de transporte que acepte todas las generaciones existentes y futuras y que responda a todas las exigencias de servicios y demandas de ancho de banda existentes y los aumentos pronosticados, a prueba de futuro y que

garanticen la calidad y los acuerdos de servicio. Por otro lado, se puede apreciar que la mayoría de las diferentes soluciones de despliegue que aquí se han relacionado recomiendan una estrategia particular a seguir para su aplicación en dependencia del escenario de partida o aquel en particular para el que fue creado. Otra forma de ver y aplicar la estrategia es definiendo fases de despliegue sobre la base de servicios, siempre en dependencia de las tecnologías y demandas a partir de las cuales se inicia la migración. Un ejemplo de ello es una estrategia para despliegue GSM/WCDMA.

Para este caso se definen tres fases distintas a las que se va llegando en dependencia de los cambios en las condiciones y progresos en el mercado. Las mismas se pueden ver en la siguiente figura.

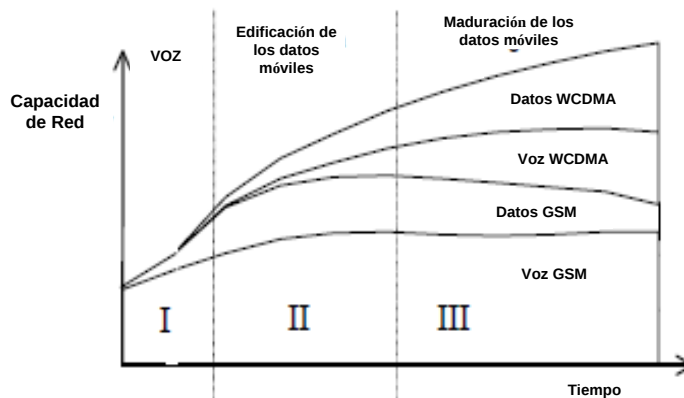


Figura 31. Fases de la Estrategia de despliegue.

La primera fase está centrada en voz mediante GSM solamente. A continuación se pasa a una fase de servicios de datos de baja velocidad por GPRS a escala nacional conjuntamente con servicios de alta velocidad mediante WCDMA en ciertas áreas y finalmente, se hace un enfoque solamente en multimedia de alta velocidad, en Internet móvil sobre WCDMA y los servicios de GSM. Cada fase está caracterizada por diferentes bases de crecimiento de suscriptores y velocidades de transmisión. En la primera fase solamente existe un crecimiento del suscriptor GSM, en la segunda fase se aprecia un crecimiento continuo de los suscriptores de voz sobre WCDMA mientras la utilización de datos tanto en GSM como en WCDMA se incrementa a razones más altas. Ya en la última fase se produce un ligero estancamiento de los servicios de voz y los servicios de datos de baja velocidad comienzan a declinar en la medida que los usuarios comienzan a migrar hacia terminales combinados GSM/WCDMA con capacidades de multimedia de alta velocidad.

Los operadores GSM se moverán en todas estas fases en la medida que evolucione el mercado y determinarán la estrategia de evolución más adecuada basada en su situación específica y una serie de factores que incluyen disponibilidad del espectro, madurez en los suscriptores y la dimensión de crecimiento de los diferentes segmentos como son el Internet móvil, la competencia, los terminales y la situación financiera. La estrategia que se adopte determinará el comienzo y duración de cada fase así como el tipo de solución que

el operador elija en cada instante. [83]

2.4 Conclusiones parciales.

En general, todas las soluciones y las estrategias que de ellas se derivan están orientadas a posibilitar la evolución de la forma más económica posible. Las soluciones tienen dos vertientes: Por un lado, están las soluciones propietarias a partir de la tecnología GSM ya instalada mediante mejoras técnicas o la introducción de equipos propietarios, basados en la optimización y posterior transformación a IP de la interfase Abis mediante métodos de multiplexación estadística basados en algoritmos propietarios o mediante nuevos equipos basados en los procesos anteriores y técnicas novedosas propietarias situados en los sitios de agregación y en los sitios celulares. Por el otro lado están las redes alternativas no dependientes de las tecnologías en uso y que esta basadas básicamente en MPLS, Ethernet o combinación de ambas. En general, la solución clásica para la transmisión de los servicios legados basados en TDM y ATM es mediante la técnica de emulación por pseudocables tanto sobre MPLS como Ethernet. Cuando se trata de transmisión IP la transmisión se basa en VPN y VPLS. Pero la conclusión derivada de todas las soluciones es que el backhaul móvil debe transformarse hacia una red de paquetes.

En cuanto a las estrategias, estas están muy íntimamente ligadas al proceso y las fases de ejecución de la solución que se adopte y en general dependerán de si se desea mantener las tecnologías legadas paralelamente a las nuevas en forma definitiva con los datos de alta velocidad por estas ultimas o se prefiere ir migrando paulatinamente todos los servicios hacia las redes de nueva generación.

CAPITULO 3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN EN CUBA.

3.1 Aspectos generales.

Este capítulo esta dedicado al análisis del estado actual de las redes en la RAN de Cuba, en base a cuyo resultado se trazaron los objetivos primordiales que deben regir su evolución y partir de estos objetivos se han propuesto las soluciones y estrategias más convenientes para la evolución de sus servicios móviles.

3.2 Estado de la RAN y Objetivos a cumplir por la solución.

3.2.1 Análisis del Estado de la RAN en Cuba.

El Estado de las redes de comunicaciones en Cuba y en particular en la RAN vista desde la óptica del despliegue y evolución de las tecnologías móviles es el siguiente:

- Redes de acceso territoriales basadas en E1 y SDH, transportadas mediante fibra y microondas, esta últimas PDH en su gran mayoría, con aislados casos SDH.
- El acceso a los sitios celulares es mediante E1 transportados por microondas PDH o fibra. No existe acceso por Ethernet ni IP a ningún sitio y los accesos de fibra a los sitios celulares no son suficientes.
- Redes troncales basadas en SDH y algunas con GMPLS.
- Redes de fibra óptica territoriales carentes de protección por mecanismo de anillo propio de la red. Los anillos son implementados en las redes troncales fundamentalmente y en las metropolitanas radicadas en Ciudad Habana.
- Ausencia de redes Metro.
- Las plataformas troncales para el transporte de datos operan aisladamente y no como parte integrante de la red de transporte, lo que trae como consecuencia la existencia de nodos de multiservicio de gran capacidad que constituyen soluciones de agregación de tráfico y que están subutilizados en cuanto a capacidad y no prestan servicio a otros tipos de tráfico diferentes.
- Escaso uso de Ethernet para el transporte.
- Utilización de Ethernet solamente en redes LAN.
- Redes de datos existentes basadas fundamentalmente en ATM.
- La tecnología utilizada en los servicios móviles es GSM 2.5 pero no todas las BTS están habilitadas para GPRS y EDGE por ser modelos antiguos con capacidad máxima limitada. Como consecuencia de lo anterior, los servicios de datos sobre la tecnología móvil actual están por debajo de sus posibilidades.

- Existen un pequeño número de estaciones instaladas con tecnología SDR e interfase Abis IP y que están habilitadas para poder trabajar con GSM/WCDM en una misma estación; pero aun no hay definiciones estratégicas en cuanto a su despliegue en base a GSM.
- La posibilidad de optimización de la interfase Abis esta limitada porque no todos los Controladores pueden manejar esta opción y existen estaciones bases que no pueden manejar esta funcionalidad.
- La convergencia de servicios por la red fija es escasa.
- No existen plataformas de convergencia entre sistemas fijos y móviles.
- Los accesos por microondas son fundamentalmente PDH y las políticas de uso van dirigidas a un uso cada vez menor. Por otro lado el la topología de las redes por microondas es punto a punto solamente.
- El despliegue, masividad y acceso de los servicios en la red fija es escaso. La diversidad de servicios muy pobre.
- Escaso despliegue de servicios de Internet.
- No hay madurez en el tráfico de paquetes. Las redes por paquete son escasas.
- No se ha pensado con objetividad el paso a todo IP ni existen condiciones para ello.

3.2.2 Objetivos que debe cumplir la solución.

Como se aprecia del análisis anterior, la disponibilidad de servicios de datos y aplicaciones en las redes fijas es escasa y la accesibilidad a las existentes es pobre y complicada. Por tal motivo, las demandas que se derivan son pocas. Esta situación lleva a la conclusión de que en este momento, en Cuba no existen las motivaciones para una evolución a corto plazo de los servicios móviles a otras generaciones ya que el marco actual esta caracterizado por la poca existencia de servicios en la red fija y por tanto, las demandas de ancho de banda y servicios deben materializarse primeramente en la red fija con la introducción de nuevos servicios y aplicaciones, además de un incremento significativo en cuanto a la generalización, difusión y accesibilidad a los mismos y un incremento notable en esta direcciones en el caso de los servicios existentes. Una vez logrado esto es que se pudiera pensar en extenderlos a las redes móviles.

Pero para el logro de estos objetivos hay que evolucionar en las redes, fundamentalmente en la de acceso y este aspecto constituye en estos momentos el principal freno para el cumplimiento de los objetivos en cuanto al tráfico en los sistemas fijos. Por otro lado, una vez que las demandas de servicios en estas redes se extiendan a las redes móviles la falta de redes de acceso adecuadas será también el impedimento tanto técnico como en cuanto a costos, para la evolución de los sistemas móviles.

Una vez que la condiciones estén creadas, para llevar a cabo este proceso cualquiera de las soluciones analizadas en el capitulo anterior podrían ser aplicadas a las redes en la RAN. Las mas objetivas son las soluciones por optimización y cambio a IP de la interfase Abis, que son aplicables a casi todas la tecnologías en uso; pero estas soluciones solo permiten un aumento de las

capacidades en la RAN hasta ciertos límites y donde el tráfico HSPA no es posible por lo tanto serían aplicables en una fase inicial de ampliación. Además, estas son soluciones propietarias de los suministradores para sus equipos, por lo que no constituyen soluciones genéricas en cuanto a suministradores se refiere y no resuelven objetivos de conectividad más generales. Por otro lado, las soluciones de optimización mediante tecnologías propietarias a base de los equipos que las entidades proponen, podrían dar una capacidad de la RAN significativamente superior pero esto implicaría la implementación de una red específica e individual para la RAN comprometida con el suministrador y definitivamente, el tráfico HSPA sería desviado por redes de acceso alternativas que no existen en este momento.

Por tanto las soluciones de evolución de las redes móviles deben pensarse con una proyección que resuelva los problemas de conectividad y acceso de las comunicaciones existentes en Cuba y no como una solución particular de las tecnologías móviles. Esto quiere decir que la solución debe ser aquella que resuelva principalmente la problemática de conectividad y acceso de las redes fijas existentes que permita un crecimiento significativo de los servicios y que como consecuencia servirá de marco para la evolución de los servicios móviles y que incluya la posibilidad de migración hasta sistemas de 4ta generación y lo más importante, que constituya una plataforma de convergencia de todos los servicios tanto fijos como móviles. Además, en las condiciones de Cuba debido a las inversiones establecidas y la técnica móvil instalada, conjuntamente con la demanda real de servicios de voz y datos, la solución para la evolución debe considerar la permanencia a largo plazo de los sistemas GSM, los que deben ser optimizados mediante las soluciones de optimización expuestas anteriormente para llevar el sistema a la capacidad máxima que la tecnología permita y en forma muy particular en cuanto cobertura. La sustitución planificada de equipos con viejas versiones por otros más modernos dentro del mismo proveedor es otro renglón a cumplimentar. La estrategia más adecuada es la de utilizar los servicios GSM optimizados para el tráfico de voz y datos de baja velocidad y el tráfico de datos de alta velocidad traducido en aplicaciones y servicios será difundido a través de los sistemas de generaciones superiores.

Debido al tiempo que puede transcurrir hasta el momento en que las condiciones requieran proceder a la evolución, debido al tiempo que requieran las redes de acceso y transporte para su evolución en el país, y teniendo en cuenta el amplio despliegue actual de los sistemas LTE y los pronósticos de los analistas que vaticinan un rápido despliegue mundial de esta tecnología en los próximos 5 años, es prudente pensar que en el momento de iniciar el proceso de evolución en Cuba sea más aconsejable ir hacia LTE que hacia la línea evolutiva WCDMA/HSPA, fundamentalmente por razones de costos y técnicas. Teniendo en cuenta esta posibilidad, la solución para la evolución debe ser capaz de aceptar la introducción de la tecnología LTE en la RAN conjuntamente con GSM.

3.3 Propuesta de Soluciones.

Teniendo en cuenta los objetivos definidos para llevar a cabo el proceso de evolución de los servicios móviles en Cuba, y el estado actual de su RAN, las

soluciones más convenientes y las estrategias para su aplicación son las siguientes:

- Las redes actuales 2.5G se mantendrán activas continuando el despliegue de las mismas de acuerdo a las estrategias de planeamiento definidas y dirigidas hacia el logro de un plan de cobertura que satisfaga las necesidades fundamentales del país. Estas redes deben evolucionar primeramente hasta lograr que todas las BTS activas posean las funcionalidades GPRS/EDGE donde se alcance la máxima velocidad de transmisión que la tecnología sea capaz de brindar. Esta estrategia implica la sustitución de estaciones con tecnologías antiguas o que no pueden ser llevadas a las funcionalidades ya descrita por estaciones más modernas que posean las funcionalidades requeridas y con mayores capacidades de tráfico por celda. En resumen, se debe optimizar tecnológicamente el sistema actual.
- Posteriormente se propone aplicar las soluciones ya descritas como Optimización de la Interfase Abis y Abis IP en todos los casos en que sea posible, lo que permitirá un aumento significativo de las capacidades.
- Paralelamente al proceso de despliegue y optimización de la tecnología 2.5G existente se llevara a cabo la implementación y despliegue de las soluciones para la evolución hacia generaciones superiores y para este caso se propone la utilización de la solución combinada Carrier Ethernet /IP/MPLS a nivel territorial y de BSS y la solución por microondas de paquetes, específicamente en funciones de acceso para los casos en que se requiera, fundamentalmente el acceso a los sitios celulares y también con la óptica también de ir migrando desde PDH hacia Ethernet e IP. Todas estas soluciones serán implementadas sobre la base del cumplimiento de los objetivos definidos anteriormente.

1.2.1 Solución Ethernet/IP/MPLS

La elección de la solución combinada Ethernet/ MPLS responde a los varios factores.

3.3.1.1 Para el caso de Ethernet:

- Soporta múltiples tipos de servicios.
- Escalabilidad. Que asegura una rápida respuesta a las necesidades de evolución del ancho de banda.
- Servicios estandarizados.
- Confiabilidad
- OAM sofisticado. Gestión para asignar capacidades y priorizar diferentes tipos de tráfico de datos de forma que se cumplan las demandas de una amplia variedad de usuarios.
- Opciones de fácil despliegue
- Resiliencia para la protección de los servicios

- Operaciones eficientes
- Control de la calidad de servicio. Con el fin de optimizar la disponibilidad de ancho de banda y la fiabilidad y asegurar oportunamente la entrega de aplicaciones, lo que constituye una tarea donde la complejidad se incrementa debido a los picos de tráfico no predecibles a partir de aplicaciones como música y videos
- Mundialmente se afirma que Ethernet ha sido y será el mejor mecanismo de transporte de capa 2 para paquetes IP.
- Los servicios y las redes Ethernet son menos complejos y menos caros que el escalamiento TDM o la operación de una red de backhaul IP.
- Los operadores confían en Carrier Ethernet debido a los estándares y ensayos llevados a cabo por el MEF y que comprende proveedores de servicio y fabricantes.
- Ethernet puede transportar grandes volúmenes de tráfico de forma eficiente en términos de costos,

Dentro de los rasgos mencionados es importante particularizar en dos de ellos. El primero se refiere al importante renglón de los costos y su relación con las demandas de ancho de banda, aspecto donde Ethernet se distingue por el volumen de tráfico que es capaz de manejar, su acomodo y asimilación rápida ante incrementos del tráfico y todo ello con una eficiencia ante costos significativa, sinónimos de una trayectoria probada en cuanto a su gran escalabilidad con un menor costo por bit. Una gráfica comparativa de los costos de servicio por conexión en un backhaul móvil entre PDH y Ethernet se muestra en la siguiente figura en la que se puede apreciar que los costos de PDH son notablemente más altos y con una tendencia significativa al aumento en los próximos años. De la figura se puede derivar que mediante el cambio desde TDM hacia Ethernet la reducción los costos mensuales recurrentes pagados a los proveedores del transporte en el backhaul por concepto de líneas significan un dramático ahorro en la medida en que las capacidades anuales aumentan.

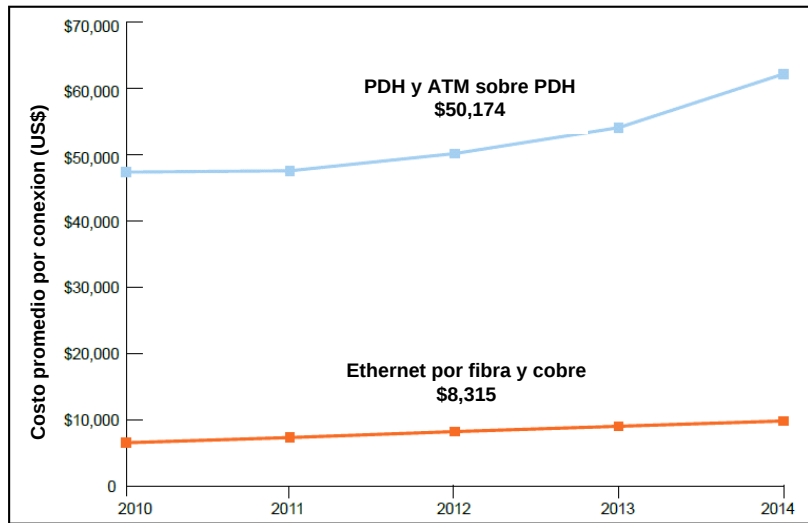


Figura 32. Pronóstico de ahorro comparativo anual de costos de servicio por conexión en el backhaul móvil entre Ethernet y PDH. Fuente: Infonetics Research. Noviembre 2010

Adicionalmente se puede afirmar que la utilización de Ethernet permite modificar significativamente la relación entre el aumento de tráfico, los costos y los ingresos en tal sentido de que los costos mediante Ethernet prácticamente van paralelamente a los ingresos con valores inferiores a estos últimos. En la siguiente figura se puede apreciar gráficamente este comportamiento.

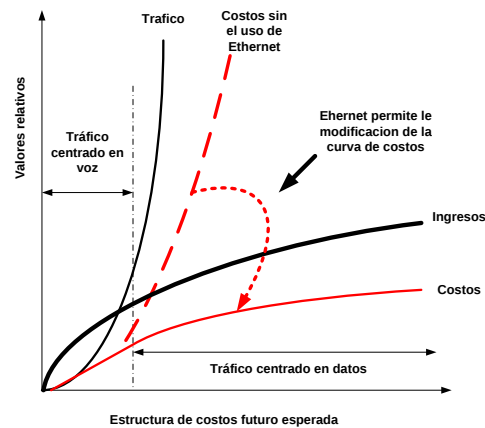


Figura 33. Influencia de Ethernet en la relación de comportamiento de los costos frente a los ingresos.

El movimiento de los operadores para la utilización de grandes anchos de banda es desde TDM hacia redes por paquetes y ello con servicios Ethernet motivado por el ahorro de costos que esta tecnología brinda. El costo de un backhaul Ethernet está muy por debajo de la mitad del costo de uno TDM y en la medida en

que la capacidad es mayor también lo es el ahorro. Una de las razones de ello reside en las eficiencias de multiplexación estadística inherentes al tráfico en paquetes manifestado en ráfagas, donde el planeamiento de capacidad se basa en volúmenes de tráfico promedio, en comparación con el tráfico por circuitos donde el planeamiento de capacidad debe basarse en volúmenes máximos esperados.

El otro aspecto particularmente significativo de la solución mediante Ethernet lo constituye el hecho de que Ethernet permite no sólo poder ofrecer servicios de HSPA en la actualidad, sino que deja la red de transporte preparada para el lanzamiento de HSPA+ y, sobre todo, LTE, que es una red IP de punta a punta y cuyas estaciones base cuentan únicamente con interfaces Ethernet para realizar las tareas de transporte desde la estación base al núcleo de la red del operador. En el caso de LTE, la topología de la red de backhaul debe cambiar a la modalidad plana. En el mundo la mayoría de las redes de backhaul legadas tienen una arquitectura en estrella con un nodo central o pueden ser también de anillo. Ethernet es una tecnología flexible que puede adoptar cualquier topología incluyendo enlaces paralelos o mallas parciales para permitir diversidad adicionalmente a las variantes usuales tales como el acceso en anillo. Por último, la problemática que presenta LTE en cuanto a gran capacidad, baja latencia, resiliencia y la posibilidad de compartir 2G, 3G y LTE en una misma red de backhaul son cuestiones que pueden ser resuelta convenientemente y en forma simple mediante el uso de Ethernet.

3.3.1.2 Para el caso IP/MPLS

En la solución Ethernet/MPLS, MPLS sirve aquí como mecanismo de transporte mediante LSP de los datos pertenecientes a la variedad de servicios VPN que oferta la red Ethernet.

La utilización de MPLS como mecanismo de transporte para el servicio Ethernet sirve como mecanismo para escalar los servicios de capa 2 de Ethernet permitiendo a los proveedores de servicio impulsar la simplicidad en el despliegue de LAN Ethernet con la escalabilidad ofrecida por IP y MPLS. De esta forma, los servicios de Ethernet de Capa 2 pueden ser ofertados como punto a punto o multipunto a multipunto. Por lo general, el servicio punto a punto se puede llevar a cabo mediante mecanismos tales como L2TPv3 o emulación EoMPLS. En el caso multipunto a multipunto este se lleva a cabo mediante VPLS que es un tipo de servicio brindado sobre la red MPLS similar al servicio LAN. El mismo permite a los usuarios el acceso a la red desde múltiples puntos dispersos geográficamente y acceder entre ellos como si estos puntos fueran accedidos directamente de la LAN. Como consecuencia de ello, con el servicio VPLS es posible extender los servicios hacia la MAN y hasta la WAN lo que permitiría desplegar las redes Ethernet en un rango geográfico superior de forma tal que abarque desde una estructura territorial dentro de una provincia hasta una regional que incluye todas las estaciones que forman parte de un BSS dado extendido en varias provincias del país. Este último aspecto es muy importante ya que en el caso de los sistemas móviles, el despliegue de redes Ethernet de extremo a extremo en forma rápida no

siempre se consigue debido a que las infraestructuras de las redes legadas no lo permiten y es aquí donde IP/MPLS juega su papel al permitir el transporte de los servicios legados y Ethernet y escalarlos hasta niveles de redes WAN.

Otras motivaciones para el uso de IP/MPLS en backhaul móvil son:

- MPLS soporta el transporte de un amplio rango de servicios de Capa 2 Y Capa 3, incluyendo TDM, ATM, HDLC e IP, y de este modo, es capaz de soportar la migración de los servicios legados TDM y ATM a una RAN basada en IP. También soporta la migración a una red PSN.
- MPLS proporciona un rango de resiliencia y de funciones de O&M que pueden ser utilizadas para asegurar la fiabilidad del backhaul móvil inalámbrico.
- MPLS proporciona ingeniería de tráfico y capacidades de QoS que permiten un mejor manejo y gestión de los recursos de la red en la red de transporte, maximizando la utilización de la infraestructura de la red y de este modo, la recuperación de la inversión del operador de la red, mientras soporta también objetivos de QoS de los servicios móviles inalámbricos.
- MPLS permite a los operadores de red brindar servicios de acceso y agregación a diferentes conjuntos de operadores móviles utilizando tanto tecnologías legadas como de corto plazo sobre redes convergentes.
- MPLS puede correr sobre un rango de infraestructuras de transporte subyacentes incluyendo Sonet/SDH, PDH y Ethernet con el fin de brindar servicios de transporte consolidados a la red de backhaul móvil.
- MPLS incluye un plano de control que posee fácil aprovisionamiento.
- MPLS brinda un exhaustivo grupo de mecanismos de protección y restablecimiento.

Como se puede apreciar hasta aquí, las soluciones combinadas Ethernet/IP/MPLS cumplen con todos los objetivos que deben cumplir las redes en Cuba y en particular aquellas de los sistemas móviles para su evolución donde se destaca la necesaria posibilidad de actualización y evolución de los servicios, aplicaciones y el tráfico en las redes fijas y en general en las redes de acceso. Pero lo más importante es que esta solución brinda una infraestructura para la convergencia entre los servicios fijos y móviles.

3.3.2 Solución por microondas.

Esta solución, aunque puede cumplir los objetivos planteados, es propuesta aquí como complementaria de la solución Ethernet/IP/MPLS para ser aplicada en casos particulares como son:

- Despliegue de las comunicaciones rurales
- Acceso a los sitios celulares donde no existe fibra
- Acceso a sitios celulares o lugares remotos.
- Despliegue de nuevos sitios hasta que llegue la fibra.
- Optimización de topologías mediante la estructuración de nodos de microondas que permitirán conectividad punto a multipunto.
- Para llevar Ethernet a los sitios celulares de una manera rápida y económica.
- Transmisión simultanea de servicios legados basados en PDH y servicios Ethernet.
- Para la gradual sustitución de los sistemas antiguos PDH sobre las redes fijas y móviles.

En Cuba, la utilización de la microonda se ha ido rechazando paulatinamente fundamentalmente por la vulnerabilidad de las estructuras para el soporte de los sistemas de radiación instalados hacia los eventos climáticos. Las bajas capacidades de transmisión de las microondas basadas en PDH Y SDH frente a la introducción de tecnologías con capacidades muy superiores como es la fibra óptica es otro factor significativo. Adicionalmente, las limitaciones de los países de trópico en cuanto al uso de bandas de frecuencia por encima de 12 GHz producto del efecto de la lluvia es otro elemento en contra. Pero en la actualidad estas consideraciones van perdiendo peso ya que las tecnologías actuales de las microondas las ha convertido en el medio más utilizado de acceso fundamentalmente en el entorno móvil. Esto se debe a las innovaciones que se han llevado a cabo en las microondas donde la más significativa es la modulación adaptativa que las hacen significativamente menos vulnerables a los fenómenos de propagación, lo que a su vez permite su utilización en condiciones de propagación y lluvias que antes no eran posibles, permitiendo así el uso de bandas de frecuencias relativamente mas altas con la consecuente disminución del diámetro de las antenas. Todo esto hace que los soportes de antenas y las alturas de las mismas sobre el soporte así como la resistencia al viento se reduzcan considerablemente.

Otro aspecto a considerar es lo relacionado con el tráfico que ya es por paquetes y en particular Ethernet y constituyen un elemento básico para migrar desde TDM hacia Ethernet además de poder constituirse tanto como nodos de acceso como de agregación, dando posibilidades a configuraciones topológicas convenientes en lugar de los clásicos enlaces punto a punto ya que ahora es posible también las comunicaciones punto a multipunto y multipunto a multipunto. La microonda es la

solución por excelencia de última milla y es la solución utilizada en el 55% al 60 % de los sitios celulares a nivel mundial.

Los principales rasgos de un backhaul móvil utilizando microondas son:

- Disminución del CAPEX. Los 45 años de desarrollo industrial y al alto volumen de fabricación han dado por resultado un bajo costo de adquisición y despliegue.
- Largo alcance. Los enlaces por microondas pueden ser extendidos en cualquier parte hasta alrededor de 50 Kms. haciéndola ideal para aplicaciones metropolitanas, urbanas o rurales.
- Alta capacidad. Los enlaces pueden ser dimensionados para entregar por encima de 1 Gbit/s.
- Confiabilidad. Se puede brindar fácilmente una disponibilidad de 99.999% aún en regiones con altas precipitaciones además de soportar un rango de opciones de protecciones de enlace, trayecto y red.
- Rápido Despliegue. Lo simple de su arquitectura permite desplegar un enlace en cuestión de horas y no de días.
- Resiliencia. Casi inmune a los efectos ambientales y pueden operar sin fallos por 10 años o más.
- Soporte de Múltiples protocolos. Los nuevos sistemas de microondas soportan transporte de tráfico TDM y Ethernet nativo con baja latencia y gran eficiencia y rendimiento.
- Inteligencia de Capa 2. Las microondas soportan gestión de tráfico de capa 2 priorización y control de QoS que permite a los operadores gestionar el flujo de tráfico a través de las redes de backhaul.
- Disminución del OPEX. Una vez instalada, la microonda requiere un mantenimiento mínimo, reduciendo los gastos anuales casi a cero.
- Compatibilidad con la infraestructura móvil. No requiere inversiones adicionales en facilidades ya que las microondas pueden compartir la misma torre, alojamientos y gabinetes utilizados para las estaciones móviles celulares.
- Múltiples topologías. Posibilidad de enlace punto a punto, punto a multipunto y multipunto a multipunto.

3.4 Esquemas topológicos

A continuación se presentan los esquemas con las topologías genéricas que responden a las soluciones propuestas. En el primer caso la topología expone el punto de vista de un territorio donde radica el sitio de los controladores de todas las generaciones con las respectivas estaciones bases. En el segundo caso, se expone la topología con una visión de Subsistema de Estación Base que agrupa el sitio de los controladores con sus estaciones base diseminadas en varios territorios y que es el caso real de interconexión.

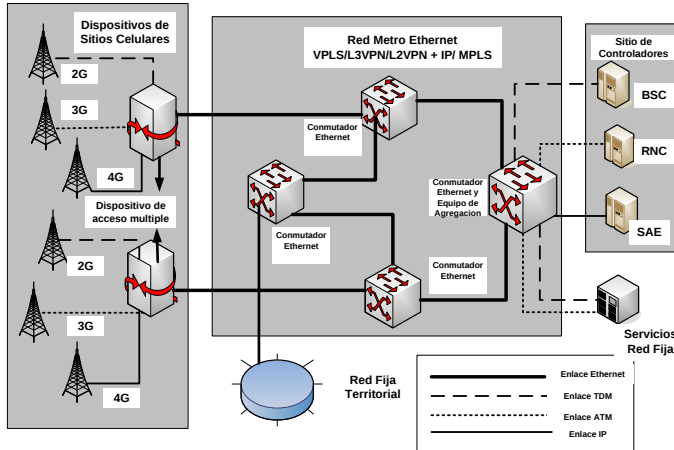


Figura 34. Caso 1. Topología genérica de la RAN en un territorio mediante solución Ethernet/IP/MPLS.

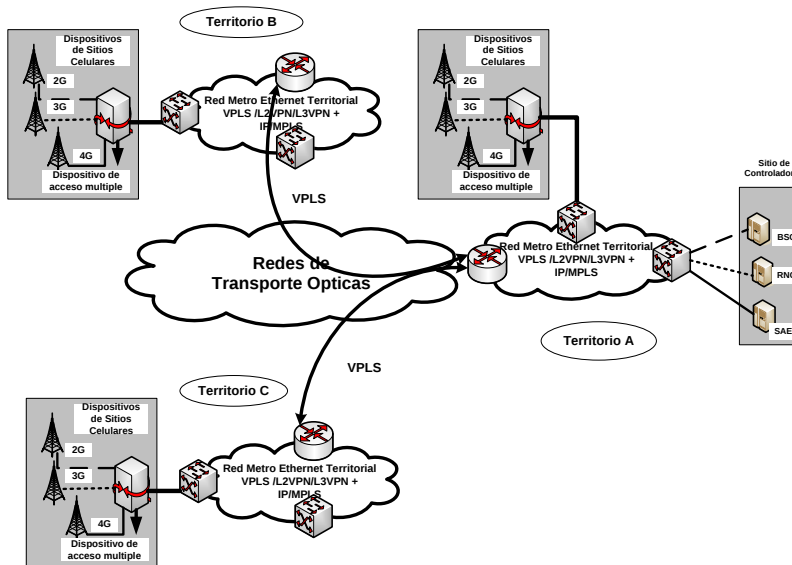


Figura 35. Caso 2. Topología genérica de la RAN a nivel de BSS mediante solución Ethernet/IP/MPLS.

3.5 Conclusiones Parciales.

El estado de las redes y los servicios de banda ancha de datos en Cuba no exigen una migración de los sistemas móviles hacia otras generaciones a corto plazo, lo que implica que es más necesario el despliegue inicial de los servicios, aplicaciones y contenidos de banda ancha en las redes fijas de forma más inmediata. No obstante, si a pesar de ello se pensara en brindar servicios de banda ancha por las redes móviles, con la consecuencia lógica de su migración hacia generaciones superiores, se presentaría una disyuntiva común, tanto para las redes fijas como para las móviles y son las tecnologías en uso en las redes de acceso, basadas fundamentalmente en TDM con transporte SDH y con ausencia de redes a nivel territorial que sean capaces de afrontar aumentos significativos de ancho de banda y poder manejar la diversidad de aplicaciones y servicios existentes mundialmente. Por este motivo, la solución para la evolución de los servicios móviles en Cuba implica la creación de nuevas redes a nivel del país y que a la vez sirvan para la evolución de los sistemas móviles a otras generaciones. Las soluciones más adecuadas para resolver esta problemática son las de optimización inicial del Abis en los sistemas existentes y la posterior implementación de una RAN basada en Ethernet/IP/MPLS, complementada con soluciones mediante microondas por paquetes en los casos que se requiera. La estrategia mas adecuada para la migración será aquella de mantener las tecnologías existentes 2.5G, fundamentalmente para voz y datos de baja velocidad y alta prioridad, paralelamente a la tecnología a la cual se migre ya sea 3G o 4G, la cual se utilizará para el tráfico de datos de alta velocidad. Cuando las condiciones lo requieran se podrá migrar hacia una red única, en este caso, 3G o 4G donde los servicios 2.5 G coexistirían con los servicios de banda ancha mediante emulación. [99], [100], [101].

Conclusiones

Las redes de transporte de datos para los operadores celulares deben migrar a nuevas tecnologías, que permitan el crecimiento del tráfico de datos manteniendo la rentabilidad de los operadores. Este desafío sólo puede lograrse con una arquitectura de transporte que sea eficiente en el tráfico de datos, y que cuente con una amplia posibilidad de escalabilidad. Las tecnologías de Tercera y Cuarta generación ya son una realidad; pero la problemática mundial para la evolución de los servicios móviles no radica en la existencia y características de las tecnologías que permitan hacer frente a las demandas de tráfico y servicios que devienen en un aumento considerable del ancho de banda. Estas tecnologías existen y están disponibles para su despliegue. El problema reside en cómo llevar a cabo el proceso lo más eficientemente posible en cuanto a los costos de inversión y de operación, de forma tal que los ingresos se correspondan cada vez más con las inversiones. En este contexto, el papel principal corresponde al backhaul, que constituye el mayor contribuyente a los gastos. La situación es mas complicada cuando la evolución parte de las redes existentes que en la mayoría de los casos son de tecnología GSM, las que se deben mantener por un tiempo considerable y que utilizan PDH/ SDH en el backhaul, lo que no responde a las demandas de capacidad con eficiencia en cuanto a costos y rapidez. Los pronósticos para los proveedores de servicios móviles que utilizan PDH, ATM sobre PDH o SDH para las conexiones en su backhaul plantean que pagarán anualmente aproximadamente de 3 a 30 veces más por servicios de conexión que con otras tecnologías. La evolución de las tecnologías a nivel mundial responden a la línea GSM/GPRS/EDGE/WCDMA/HSPA/HSPA+/LTE, siendo la tecnología WCDMA con HSPA la mas difundida como 3G aunque el despliegue LTE esta aumentando en forma significativa en la actualidad.

Debido a la problemática de costos, las soluciones y las estrategias que de ellas se derivan están orientadas a posibilitar la evolución de la forma más económica posible. Estas soluciones tienen dos vertientes: Por un lado, están aquellas propietarias a partir de la tecnología GSM ya instalada mediante mejoras técnicas o la introducción de equipos propietarios, basados en la optimización y posterior transformación a IP de la interfase Abis usando métodos de multiplexación estadística basados en algoritmos propietarios o mediante nuevos equipos basados en los procesos anteriores y técnicas novedosas propietarias situados en los sitios de agregación y en los sitios celulares. Por el otro lado están las redes alternativas no dependientes de las tecnologías en uso y que esta basadas básicamente en MPLS, Ethernet o combinación de ambas. En general, la solución clásica para la transmisión de los servicios legados basados en TDM y ATM es mediante la técnica de emulación por pseudocables tanto sobre MPLS como Ethernet. Cuando se trata de transmisión IP la transmisión se basa en VPN y VPLS. Pero la conclusión derivada de todas las soluciones es que el backhaul móvil debe transformarse hacia una red de paquetes.

En relación a las estrategias, estas están muy íntimamente ligadas al proceso y

las fases de ejecución de la solución que se adopte y en general dependerán de si se desea mantener las tecnologías legadas paralelamente a las nuevas en forma definitiva con los datos de alta velocidad por estas ultimas o se prefiere ir migrando paulatinamente todos los servicios hacia las redes de nueva generación. En el caso particular de Cuba nos encontramos que el estado de las redes y los servicios de banda ancha de datos en Cuba no exigen una migración de los sistemas móviles hacia otras generaciones a corto plazo si no que es más necesario el despliegue de servicios, aplicaciones y contenidos de banda ancha en las redes fijas de forma más inmediata, Pero, la migración ya sea fija como móvil va a enfrentarse con una dificultad común y son las tecnologías en uso en las redes de acceso, basadas fundamentalmente en TDM con transporte SDH y con ausencia de redes a nivel territorial que sean capaces de afrontar aumentos significativos de ancho de banda y poder manejar la diversidad de aplicaciones y servicios existentes. Debido a ello, se hacen considerables inversiones en las redes de transporte troncales pero las redes territoriales crecen sobre la base de E1 que en realidad no puede seguir las demandas de tráfico y donde el costo del despliegue y ampliación es muy alto y seguirá aumentando en el futuro. Por este motivo, la solución para la evolución de los servicios móviles en Cuba implica la creación de nuevas redes a nivel del país que a la vez servirán para sistemas móviles. Las soluciones mas adecuadas son las de optimización inicial del Abis en los sistemas existentes y la posterior implementación de una RAN basada en Ethernet/IP/MPLS, complementada con soluciones mediante microondas por paquetes en los casos que se requiera. La estrategia mas adecuada para la migración será aquella de mantener las tecnologías existentes 2.5G fundamentalmente para voz y datos de baja velocidad, paralelamente al la tecnología a la cual se migre ya sea 3G o 4G, la cual se utilizara para el tráfico de datos de alta velocidad. Cuando las condiciones lo requieran se podrá migrar hacia una red única, en este caso, 3G o 4G donde los servicios 2.5 G coexistirían con los servicios de banda ancha mediante emulación .La solución aquí planteada es, en ausencia de una plataforma IMS, la encargada de lograr la convergencia de servicios y tecnologías que es la dirección hacia donde se mueven las comunicaciones para el logro de la banda ancha.

Referencias

- [1] RAD Data communications, White Paper. , “How to Reduce Cellular Backhaul Transport Cost While Improving 2G and 3G Network”. 2004
Disponible en: http://www.arcelect.com/2G-3G_wp_cellular.pdf.
- [2] ARIB, “Personal Digital Cellular telecommunication System ARIB Standard RCR STD-27L”. 1991.
Disponible en: http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/5-STD-27_L-1p3-E.pdf
- [3] Harte, L., “IS-136 TDMA Technology, Economics, and Services”, Artech House; 1998.
- [4] TIA/EIA/IS-136.1,1995.
Disponible en: <http://www.tiaonline.org/standards/catalog/search.cfm>. 2009
- [5] Ericsson Radio Systems AB., “GSM System Survey: Student Text”, EN/LZT 123 3321 R4A; 1998.
Disponible en:
<http://www.crvc.etecsa.cu/index.aspx?stIndex=state2&ui=4b86a36b-8aa3-4c0a-866c-c6ace49f32c4>.
- [6] Heine, G., “GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation”, Artech House, 1999.
- [7] Agilent Technologies, “Understanding General Packet Radio Service (GPRS)”. Application Note 1377, 2001.
Disponible en: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-2598EN.pdf>
- [8] Heine, G., “GPRS: Gateway to Third Generation Mobile Networks”, Artech House, 2003
- [9] Larsson, G., “Evolving from cdmaOne to third-generation Systems” Ericsson Review No. 2, 58-67, 2000.
- [10] 3GPP2 S.R0023 Version 1.0. “High-Speed Data Enhancements for cdma2000 1x – Data Only”. Version Date: June 9, 2000
- [11] Langer, J., “CDMA2000—A world view”, Ericsson Review No. 3, 150 -158, 2001
- [12] Etemad, K., “CDMA2000® Evolution: System Concepts and Design Principles”, John Wiley & Sons, Inc, 2004

- [13] Ipatov, V., "Spread Spectrum and CDMA Principles and Applications", John Wiley & Sons, Ltd, 2005
- [14] Nilsson, M., "Normas de acceso de radio de tercera generación". Ericsson Review No. 3, 110 -121, 1999.
- [15] Ericsson technical paper. "EDGE: Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks"; 2005
- [16] 3G Americas, "EDGE, HSPA and LTE Broadband Innovation", Rysavy Research, 2008 Disponible en: <http://www.3gamericas.org/documents>,
- [17] 3GPP Specifications. Disponible en: <http://www.3gpp.org/specifications>.
- [18] 3GPP2 Specifications.
Disponible en: http://www.3gpp/public_html/specs/alltsgscfm.cfm ,
- [19] Shimoe, T., "IMT-2000 Network Architecture". Fujitsu Sci. Tech., 38, 2, p.134 - 139, 2002.
- [20] "UMTS Evolution from 3GPP release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE", 3G Americas 2007
Disponible en: http://www.3gamericas.org/documents/UMTS_Rel-8_White_Paper_12.10.07_final.pdf ,2009
- [21] Muratore, F., "UMTS Mobile Communications for the Future". John Wiley & Sons, Ltd. 2001
- [22] Castro, J., "The UMTS Network and Radio Access technology," John Wiley & Sons, Ltd, 2001
- [23] Ericsson Radio System AB. White Paper AE/LZT 123 6982 "Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network, 2001
Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/7090621/WCDMA-RAN-Basic-Concepts>
- [24] Ericsson Radio System AB, White Paper 284 23-3113 Uen Rev A. "Innovations in WCDMA," 2008
Disponible en: http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/whitepapers/innovations_in_wcdma.pdf,2009
- [25] A, Kein, "Linear Unbiased data Estimation in mobile radio systems applying CDMA", IEEE SAC Vol 11, , pp. 1058-1066, 1993
- [26] Nawrock, M., "Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and

Automated Optimisation Theory and Practice,” John Wiley & Sons, Ltd, 2006

- [27] Ericsson Radio System AB, White Paper 284 23-3087 Uen Rev A, “Basic Concepts of HSPA”, 2007
Disponible en: http://classiciet.com/tutors/3087_basic_conc_hspa_a.pdf
- [28] Bergman, J., “HSPA Evolution – Boosting the performance of mobile broadband access”. Ericsson Review No. 1, 32-37, 2008
- [29] Yang, S., “3G CDMA2000 Wireless System Engineering”. Artech House, Inc, 2004
- [30] Etemad, K., “CDMA2000® Evolution: System Concepts and Design Principles”, John Wiley & Sons, Inc, 2004
- [31] Dahlman, E., “Key features of the LTE radio interface”, Ericsson Review No. 2, 77-80, 2008
- [32] Ericsson Radio System AB, White Paper. “LTE-an introduction”, 284 23-3124 Uen Rev B. 2009
Disponible en: <http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/whitepapers/lteoverview.pdf>
- [33] IEEE-SA, “IEEE 802.16e-2005 Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems”. Part 16: 2006
Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16e-2005.pdf>, 2009
- [34] Cheng Chen, K., “Mobile WiMAX”. John Wiley & Sons, Ltd. 2008
- [35] ITU global standard for international mobile telecommunications, “IMT-Advanced”;
Disponible en: <http://www.itu.itu/ITUR/index.asp?category=information&mlink=imt-advanced&lang=en>
- [36] Defining 4G: Understanding the ITU Process for the Next Generation of Wireless Technology, 3G Americas, 2007
Disponible en: http://www.3gamericas.org/documents/3G_Americas_Defining_4G_WP_July2007.pdf
- [37] Infonetics Research, “Mobile Backhaul Equipment, Installed Base, and Services”, March, 2007.
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>

- [38] Infonetics Research. "Mobile Backhaul Equipment, Installed Base, and Services", November, 2009.
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>
- [39] Overture Networks, White Paper, "Mobile Backhaul Strategy; Ethernet or IP", 2009
Disponible en:
http://www.overturenetworks.com/downloads/whitepapers/MobileBackhaulStrategy_Final.pdf
- [40] Global mobile Suppliers Association. "Mobile Broadband-The Next Baseline", November, 2009.
Disponible en:
http://www.gsacom.com/downloads/pdf/MBB_baseline_survey_report_191109.php4
- [41] Téral.S., "Fixed and Mobile Subscribers". Infonetics Research. November, 2009
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>
- [42] Howard, M., "Mobile Backhaul Equipment and Services". Infonetics Research November, 2009.
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>
- [43] Stamatakis, C., "Global Mobile Forecast to 2013", 8th edition, Informa Telecom & Media. December 2008
Disponible en : <http://www.informatm.com/itmgcontent/icom>
- [44] Gordien, O., "Mobile Backhaul: from Backstage to Spotlight". Strategy White Paper, Alcatel Telecommunications Review - 4th Quarter 2003/1st Quarter 2004
Disponible en: <http://sysdoc.doors.ch/ALCATEL/S0312-Mobile-Backhaul-EN.pdf>
- [45] GSA., "Situación Actual de la redes GSM/3G". Diciembre 2007
Disponible en: <http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSM%20G%20Network%20Update%20dec%202007%20Spanish.php4>
- [46] Brydon, A., "Wireless broadband forecasts for 2008-2015: HSPA, HSPA+, EV-DO, LTE and WiMAX", Analysys Mason, July 2008.
Disponible en: <http://www.analysysmason.com/Research/Content/Reports/-Wireless-broadband-forecasts-for-20082015-HSPA-HSPA-EV-DO-LTE-and-WiMAX/>
- [47] Howard, M., "Mobile Backhaul Equipment and Services". Infonetics Research May 27, 2009. Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>

- [48] Téral, S., "Mobile Services and Suscribers Market Outlook: Voice, SMS/MMS, and Broadband". Infonetics Research, Sep. 9, 2009
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>
- [49] Research and Markets., "3G Market Forecast to 2010". July 1, 2008
Disponible en:
http://www.researchandmarkets.com/reports/613800/3g_market_forecast_to_2010.pdf
- [50] Infonetics Research. Michael Howard. Mobile Backhaul Equipment, Installed Base, and Services. Biannual Worldwide Market Size and Forecast. October 2008.
- [51] Hongsong, L., "Transport Mode in the Mobile Broadband Era". Huawei Technologies, Communicate, ISSUE 39, 23-25, MAR 2008
Disponible en: <http://www.huawei.com/publications/view.do?id=2977-&cid=5409&pid=61>
- [52] GSA., EDGE FACT SHEET. February 1, 2010
Disponible en: http://www.gsacom.com/downloads/edge/EDGE_Fact_Sheet.-php4
- [53] 3G Americas, "3GPP mobile Broadband Innovation Offers Operator Choice on the path to 4G", February, 04, 2010.
Disponible en: <http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay-&pressreleaseid=2638>
- [54] GSA. "GSM/3G Network Update", February 2010
Disponible en: http://www.gsacom.com/downloads/pdf/GSA_GSM_3G-Network_Update_Feb2010.php4
- [55] GSA, "GSM/3G Market/Technology Update". February, 26, 2010
Disponible en: http://www.gsacom.com/downloads/pdf/lte_3gpp.php4
- [56] 3G Americas Press Release, "Mobile Connections in Latin America Exceed Half a Billion". March 05, 2010
Disponible en: <http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=pressreleasedisplay&pressreleaseid=2709>
- [57] IP/MPLS Forum White Paper. Use of MPLS technology in Mobile Backhaul. February 2008. Alan Greco. Disponible en:
<http://www.broadband-forum.org/marketing/download/mktgdocs/IPMPLSMobileBackhaulWhitePaper.pdf>.

- [58] AMS. IP/MPLS Forum MPLS in Mobile Backhaul Networks. Framework and Requirements. Technical Specification. IP/MPLS Forum 20.0.0. October 2008. Disponible en: <http://www.broadbandforum.org/technical/download/ipmpls/IPMPLSForum20.0.0.pdf>.
- [59] .Jeff. RAD Technology Backgrounder. TDM Pseudo wire. May 2007. Disponible en: http://www.pseudowire.com/staticfiles/Static/20Files/MediaItems/6974_TDM_Pseudowire.pdf.
- [60] MEF Information Center. Carrier Ethernet Defined. Disponible en: http://metroethernetforum.org/page_loader.php?p_id=140.
- [61] J. Olsson. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF22. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical-specifications/MEF22.pdf.
- [62]. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF22. August 2008. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical-specifications/MEF6-1.pdf.
- [63]. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF10. July 2010. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical-specifications/MEF10.pdf.
- [64] .B. Mandeville. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF13. July 2010. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical-specifications/MEF13.pdf.
- [65]. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF20. August 2008. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/MEF20.pdf.
- [66]. MEF Information Center. MEF Technical Specifications. Specification MEF8. June 2010. Disponible en: http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/technical-specifications/MEF8.pdf.
- [67]. Cisco Systems Data Sheet; Cisco MWR 1941-DC-A Mobile Router December

2007.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps4062/product_data_sheet0900aecd806a39e1.pdf.
- [68]. Cisco Systems Quick Look ; Cisco RAN Optimization Solution for GSM and UMTS Backhaul Optimization Applications. December 2007.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns523/ns675/ns329/net_brochure0900aecd8032c191.pdf.
- [69]. Cisco Systems White Paper; Cisco Offers IP RAN Optimization Congestion Management for GSM and UMTS. December 2007.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns523/ns675/ns329/net_implementation_white_paper0900aecd8068cadd.pdf.
- [70]. Cisco Systems Quick Look; Alternative Backhaul and Data Offload Solutions for GSM and UMTS Operators. March 2009.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps4062/product_brochure0900aecd8032c176.pdf.
- [71]. Cisco Systems Data Sheet; Cisco 2900 Series Integrated Service Routers. November 2009.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps10537/data_sheet_c78_553896.pdf.
- [72]. Cisco System Product Data Sheet; IP RAN Service Module for the Cisco ONS 15454 SONET/SDH Multiservice Provisioning Platform. September 2008.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns523/ns675/ns329/data_sheet_c78-473195.pdf.
- [73]. Cisco Systems White Paper; Migration to ALL-IP RAN Transport. March 2009.
Disponibile en:
http://www.telecomtv.com/docDownload.aspx?fileid=eea0298c-1abc-426f-b5c9-aca14c4dcbb8/415807_Cisco_migration-toall-IP-RAN-transport.pdf&id=1212.
- [74]. Cisco Systems White Paper; Any Transport over MPLS. April 2005.
Disponibile en:
http://www.cisco.com/warp/public/cc/so/neso/vpn/unvpnst/atomf_wp.pdf.
- [75]. Ericsson AB. White Paper; High-speed technologies for mobile backhaul. 284 23-3119 Uen Rev D. October 2008.

Disponible en:

<http://www1.ericsson.com/res/docs/whitepapers/High-speed-technology-mobile-backhaul.pdf>.

- [76]. Ericsson White Paper; Full service broadband architecture; 284 23-3098 Uen Rev A; December 2006.
Disponible en: http://eipa-stg.ericsson.com/ag/news/081001_high_speed_mobile_backhaul_634817832_c#.
- [77]. Ericsson. "GSM/WCDMA Transport Sharing". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description 287/1553-HSC 103 12/12 Uen F. 2009.
- [78]. Ericsson. "Abis Optimization". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description 264/1553-HSC 103 12/12 Uen D. 2009.
- [79]. Ericsson. "Abis over IP". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description. 263/1553-HSC 103 12/12 Uen H. 2009.
- [80]. Ericsson. "IP over E1/T1". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description 281/1553-HSC 103 12/12 Uen E. 2009.
- [81]. Ericsson. "RAN over IP using Circuit Emulation". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description 264/1553-HSC 103 12/12 Uen A1. 2009.
- [82]. Ericsson. "RAN over IP using Pseudo Wire Service". BSS 08A.Feature Description; Transmission. User Guide; Doc. EN/LZN 719 0013 R1G. User Description 114/1553-HSC 103 12/12 Uen D2. 2009.
- [83]. Ericsson White Paper; "GSM & WCDMA SEAMLESS NETWORK March 2006.
Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/7029820/Gsm-Wcdma-Seamless-Network>.
- [84]. The Celtro DINAMATE Product Family. "Innovative Mobile Backhaul Switches that Keep Operators One Step Ahead:" February 2010.
Disponible en: http://www.celtro.com/uploads/products/Celtro%20product%20brochure_01022010.pdf.
- [85]. Celtro. The DMT 4000 Family. "A Scalable Access Switches for Mobile Backhaul Networks". May 20101.

- Disponible en: <http://www.celtro.com/uploads/products/DMT4000100510.pdf>.
- [86]. Celtro. The DMT 1000 E Series; “Advanced Compact Access Switches for Mobile backhaul Networks”. May 2010.
Disponible en:
http://www.celtro.com/uploads/products/DMT1000E_100510.pdf.
- [87]. Celtro. A.Shuper, Y. Oppenheim; “Innovative Technologies for Backhauling HSPA Traffic”. November 2008.
Disponible en:
<http://www.celtro.com/innerData/files/Technologies%20for%20HSPA/20backhaul%20-%202051108.pdf>.
- [88]. Celtro. A.Shuper; “Migrating to IP-based Mobile Backhaul: Operator’s Perspective”. February 2009.
Disponible en:
<http://www.celtro.com/innerData/files/Migrating%20to%20IP%20based%20backhaul%20-%20Operators%20strategies.pdf>.
- [89]. Celtro. S. Gorodeisky; “Virtual Bonding: Innovative Mobile Backhaul Switching Technology”. October 2009.
Disponible en:
http://www.celtro.com/uploads/solutions/VB_10_2009_Final.pdf.
- [90]. Metaswitch, Press Release. “Celtro Selects Metaswitch MPLS and Routing for Mobile Backhaul. London. UK. January 11, 2010.
Disponible en:
<http://www.metaswitch.com/news/celtro-selects-metaswitch-for-mobile-backhaul.aspx>.
- [91]. Huawei Solution. “SingleRAN@Broad making tremendous traffic profitable”. 2010.
Disponible en:
<http://www.huawei.com/publications/view.do?id=6134&cid=11408&pid=61>.
- [92]. P.G. Cook; SDR Forum; Base Station Working Group;” Base Station System Structure”. Document No SDRF-01-P-0006-V2.00. September 2007.
Disponible en:
http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-01-P-0006-V2_0_0_BaseStation_Systems.pdf.
- [93]. Aviat Networks .White Paper; “Packet Node in the Mobile Network ETSI. January 2010
Disponible en: <http://www.aviatnetworks.com/about-us/articles-resources/>.
- [94]. Hatteras Networks. White Paper; “Mobile Backhaul Issues Solved with BFP.

2007

Disponible en:

http://www.hatterasnetworks.com/whitepapers_request.aspx?wpID=3.

- [95]. Hatteras Networks. Orange Book. The Complete Executive's Handbook. "Ethernet Backhaul". 2008.
Disponible en:
http://www.hatterasnetworks.com/whitepapers_request.aspx?wpID=3
- [96]. M. Serrano; O3b Networks, Ltd; "Cellular Backhaul and Mobile IP trunking over Satellite Network". March 2009.
Disponible en: www.o3bnetworks.com.
- [97]. D. Dirks. Unstrung Insider; "Microwave, Satellite & E-Band Backhaul: Growth Prospects". Vol. 8; No 7; July 2009.
Disponible en:
http://www.heavyreading.com/mobilenetworks/list.asp?page_type=all_reports
- [98]. DudiB.O3b Networks.Gilat. " 3G MEO SAT Efficient broadband wireless Backhaul ". September 2009.
Disponible en:
<http://www.gilatnetworks.com/data/uploads/ProductPDFs/3G%20MEO%20VSAT%2022-Sept-2008.pdf>.
- [99] M. Howard. Infonetics Research White Paper. "Using Carrier Ethernet Backhaul LTE". February 2011
Disponible en: <http://www.infonetics.com/research.asp>
- [100] J. Witters. " Tutorial Tecnico de VPLS". Revista de Telecomunicaciones de Alcatel. 4to Trimestre 2004 pag 433 a 439.
- [101] J. Metzlel. IT Innovation Report. "Combining Ethernet and MPLS". July 2005.
Disponible en: <http://www.metrobility.com>

GLOSARIO DE SIGLAS Y TERMINOS

2G	<i>Second Generation</i>
3G	<i>Third Generations</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
3GPP2	<i>Third Generation Partnership Project 2</i>
4G	<i>Fourth Generation</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
AN	<i>Access Node</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ARPU	<i>Average Revenue Per User</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
AUC	<i>Authentication Center</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CE	<i>Customer Edge</i>
CEoP	<i>Circuit Emulation over Packet</i>
CESoPSN	<i>Circuit Emulation Service over Packet Switched Network.</i>
CGSN	<i>GPRS Service Node</i>
CN	<i>Core Network</i>
cRTP	<i>Compressed Real-time Transport Protocol</i>
CS	<i>Circuit Switched</i>
CSG	<i>Cell Site Gateway</i>
cUDP	<i>Compressed User Datagram Protocol</i>
D-AMPS	<i>Digital Advanced Mobile Phone System</i>
DL	<i>Down Link</i>
DQPSK	<i>Differential Quadrature Phase Shift Keying.</i>
DS-CDMA	<i>Direct Sequence Code Division Multiple Access</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
E1	<i>European Basic Multiplex Rate (2.048Mbps data rate).</i>
EoMPLS	<i>Ethernet Over MPLS</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM of Evolution</i>
EFM	<i>Ethernet in the First Mile</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
EN	<i>Edge Node</i>
EPL	<i>Ethernet Private Line</i>
EP-LAN	<i>Ethernet Private LAN</i>
EP-Tree	<i>Ethernet Private Tree</i>
ET	<i>Ethernet Protocol</i>
EVC	<i>Ethernet Virtual Connection</i>
EVPL	<i>Ethernet Virtual Private Line</i>
EVP-LAN	<i>Ethernet Virtual Private LAN</i>
EVP-Tree	<i>Ethernet Virtual Private Tree</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
GIWF	<i>Generic Interworking Function.</i>
GMSK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i>

GMPLS	<i>Generalized Multi-Protocol Label Switching</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
HARQ	<i>Hybrid Automatic-Repeat-Request</i>
HDLC	<i>High-Level Data Link Control</i>
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
IDMA	<i>Interleave Division Multiple Access</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical & Electronics Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMA	<i>Inverse Multiplexing over ATM</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IW	<i>Interworking</i>
IWF	<i>Interworking Function</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LAPD	<i>Link Access Procedure-D</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
L2TPv3	<i>Layer Two Tunneling Protocol Version 3</i>
MASG	<i>Mobile Aggregation Site Gateway</i>
MBIA	<i>Mobile Backhaul Implementation Agreement</i>
MC-CDMA	<i>Multi-Carrier Code Division Multiple Access</i>
ME	<i>Mobile Equipment</i>
MEF	<i>Metro Ethernet Forum</i>
MEN	<i>Metro Ethernet Network</i>
MFA	<i>Managed Funds Association</i>
ML-PPP	<i>Multilink Point-to-Point Protocol</i>
MMBI	<i>MPLS Mobile Backhaul Initiative</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
MPPP	<i>Multilink Point-to-Point Protocol</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile Switching Center</i>
MSPW	<i>Redundant Multisegment Pseudowire</i>
MtoP	<i>Mobile Transport over Packet</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex Access</i>
OPEX	<i>Operational expenditure</i>
PCU	<i>Packet control unit</i>
PDN	<i>Public Data Network</i>
PE	<i>Provider Edge</i>
PPP	<i>Point-to-Point Protocol</i>
PS	<i>Packet Switching</i>
PSTN	<i>Public Switched telephone network</i>
PSN	<i>Packet Switched Network</i>
PW	<i>Pseudowire</i>
QAM	<i>Quadrature amplitude modulation</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>

RAN BS	<i>Radio Access Network Base Station</i>
RAN CE	<i>Radio Access Network Customer Edge</i>
RAN NC	<i>Radio Access Network Controller</i>
RC	<i>Radio Controller</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SAToP	<i>Structure Agnostic TDM over Packet</i>
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SDMA	<i>Space Division Multiple Access</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
S-PE	<i>Switching PE (Provider Edge)</i>
SSPW	<i>Single-Segment Pseudowire</i>
STM-n	<i>Synchronous Transport Module Level n</i>
TD-CDMA	<i>Time Division, Code Division Multiple Access</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TDMoMPLS	<i>TDM over MPLS</i>
TD-SCDMA	<i>Time Division Synchronous Code Division Multiple Access</i>
TNL	<i>Transport Network Layer</i>
T-PE	<i>Terminating PE (Provider Edge)</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UL	<i>Uplink</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications Service</i>
UNI	<i><u>User Network Interface</u></i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
VB	<i>Virtual Bounding</i>
VB-G	<i>Virtual Bounding Group</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
VPN	<i>Private Virtual Network</i>
VPLS	<i>Virtual Private LAN Service</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access forum</i>