

# **UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ingeniería**

**Estudio y análisis de Sistemas Móviles de Datos  
sobre Redes Celulares**

**Carlos Andrés Kuan-Lon Lau Luin**

Guatemala  
2006



**Estudio y análisis de Sistemas Móviles de Datos  
sobre Redes Celulares**

# **UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**


**Facultad de Ingeniería**

## **Estudio y análisis de Sistemas Móviles de Datos sobre Redes Celulares**

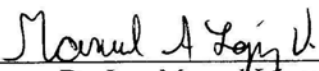
Trabajo de investigación presentado por Carlos  
Andrés Kuan-Lon Lau Luin para optar al grado  
académico de Licenciado en Ingeniería Electrónica


Guatemala  
**2006**


Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Lee

Tribunal:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Dr.-Ing. Manuel López

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Pedro Romero

(f)   
\_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Lee

Fecha de aprobación: 28 de noviembre de 2006.

# PREFACIO

Este trabajo de graduación nace de la fascinación del autor por las telecomunicaciones, especialmente por el campo de la telefonía celular. Además el hecho que el tema tratado en esta tesis sea de tanta importancia en la actualidad, hizo que la motivación creciera aún más por realizar un estudio profundo sobre las Redes Móviles de Datos, las cuales ya no son sólo el futuro de las telecomunicaciones sino poco a poco se están convirtiendo en el presente. Incluso este trabajo de graduación ocurre de la necesidad de llenar la falta de literatura en la biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala relacionada con la telefonía celular, uno de los campos de la electrónica más grandes en la actualidad.

En general el desarrollo de la tesis fue bastante fluido, aunque fueron encontrados varios problemas inesperados al momento de la recolección de información. El mayor de éstos fue la falta de información y estudios realizados respecto a datos estadísticos de utilización de Sistemas Móviles de Datos en Latinoamérica. Ante esto fue necesario considerar variables que en un inicio no estaban contempladas para llegar a cumplir con algunos de los objetivos planteados al inicio del proyecto. Salvo la vicisitud mencionada, se logró cumplir con las expectativas planteadas al inicio del trabajo de graduación.

Finalmente me queda agradecer a mi asesor, Carlos Lee, por la ayuda prestada durante el largo proceso de elaboración de la tesis y principalmente por plantear inteligentemente los lineamientos y el rumbo del proyecto. Agradezco también a Pedro Romero por sus acertadas sugerencias acerca de este trabajo de graduación y por ser una de las personas que más me motivó en adentrarme dentro del mundo de las telecomunicaciones.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO .....	v
LISTA DE TABLAS .....	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	viii
RESUMEN .....	ix
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. SISTEMAS DE TELEFONIA CELULAR .....	5
4. TECNOLOGÍAS MÓVILES DE DATOS .....	16
5. ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO .....	40
6. EVOLUCION Y ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS MOVILES DE DATOS A NIVEL MUNDIAL .....	52
7. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN .....	64
8. ¿CUÁL ES EL MEJOR SISTEMA MÓVIL DE DATOS PARA GUATEMALA? .....	73
9. CONCLUSIONES .....	78
10. RECOMENDACIONES .....	80
11. BIBLIOGRAFIA .....	81
12. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS .....	85

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Esquemas de Codificación para GPRS .....	18
2. Esquemas de Codificación en EDGE .....	24
3. Configuración de Radio en CDMA .....	27
4. Evolución estándar IEEE 802.16 .....	36
5. Throughput de Sistemas Móviles de Datos .....	40
6. Espectro requerido en Sistemas Móviles de Datos .....	43
7. Crecimiento usuarios multimedia en Suecia .....	54
8. Crecimiento usuarios multimedia en Hong Kong .....	56
9. Tráfico datos, suscripciones telefonía celular y población en Chile .....	59
10. Tráfico de datos promedio en Guatemala .....	62
11. Estatus de implementación de redes CDMA en 2006 .....	67
12. Costo de implementación GPRS .....	69
13. Costo de implementación EDGE .....	69
14. Costo de implementación 1xRTT .....	70
15. Costo de implementación 1xEVDO .....	70
16. Comparación Costo-Throughput de Sistemas Móviles de Datos .....	71
17. Comparación Throughput, espectro y movilidad .....	74
18. Comparación servicios, seguridad de acceso y relación Dólar / Kbps .....	74

# LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración</b>	<b>Página</b>
1. Arquitectura de red GSM .....	10
2. Acceso de radio en CDMA .....	13
3. Modulación-Demodulación en CDMA .....	14
4. Señales en modulación GMSK .....	17
5. Arquitectura de red GPRS .....	21
6. Arquitectura de red EDGE .....	22
7. Arquitectura de red 1xRTT .....	29
8. Multiplexación de usuarios en 1xEVDO .....	31
9. Control de potencia en 1xEVDO .....	33
10. Arquitectura de red 1xEVDO .....	34
11. Throughput máximo de Sistemas Móviles de Datos .....	42
12. Países con mayor penetración multimedia móvil al año 2003 .....	53
13. Usuarios multimedia, suscripciones telefonía celular y población en Suecia	55
14. Usuarios multimedia, suscripciones telefonía celular y población en Hong Kong .....	57
15. Suscripciones telefonía celular y población en Chile .....	59
16. Tráfico de datos en Chile .....	60
17. Tráfico de datos diario promedio en 2006 en Guatemala .....	62
18. Relación Dólar / Kbps de Sistemas Móviles de Datos .....	71

# RESUMEN

Este trabajo de graduación busca determinar principalmente el Sistema Móvil de Datos más apropiado para un país como Guatemala. Para esto se hace inicialmente un análisis técnico de cada una de las tecnologías a estudiar para así tener las herramientas que permitan establecer las ventajas y desventajas técnicas de los sistemas. Posteriormente se realiza un estudio estadístico de utilización de los Sistemas Móviles de Datos para definir el grado de consumo que tienen las tecnologías a nivel mundial. Más adelante se hace un análisis de costos que permitirá hacer una relación costo-beneficio. Finalmente con los estudios antes mencionados se procesa y analiza la información para determinar y concluir con el objetivo principal del trabajo de graduación.

# 1. INTRODUCCIÓN

El surgimiento comercial de la telefonía móvil en Guatemala ha revolucionado la forma de comunicación más importante, la comunicación telefónica. Y es que la idea de tener un aparato portátil que le permita a una persona realizar una conversación telefónica con una libertad de movilidad mayor que la que le ofrece la telefonía fija, abre un sinfín de posibilidades de comunicación. El hombre de negocios que viaja constantemente puede comunicarse con clientes y proveedores a cualquier hora, el hijo que sale a una excursión puede estar en contacto con sus padres... en fin, los límites geográficos que presentaba la telefonía fija desde su introducción en Guatemala en el año de 1881 poco a poco irían desapareciendo con la telefonía celular.

La privatización de las telecomunicaciones en 1996 ha dado como resultado un crecimiento casi exponencial en la telefonía celular que hasta la fecha se mantiene. Actualmente existen más de 3 millones de usuarios en la telefonía móvil distribuidos en 3 operadores. Comparados con los 64,194 usuarios que existían en 1997 es fácil darse cuenta que la nueva ley de telecomunicaciones vino a facilitar el acceso a una línea telefónica.

Esta apertura en la industria de las telecomunicaciones permitió también que nuevas tecnologías se fueran incorporando por parte de los operadores con el fin de ofrecer más y mejores servicios al cliente, intentando así obtener una ventaja competitiva que les asegurara una mayor cantidad de usuarios.

Poco a poco nuevos servicios de valor agregado se han ido incorporando en la telefonía móvil, de modo que un teléfono celular ya no sirve para simplemente tener una conversación de voz con otro usuario, sino que también puede usarse para otros fines, como enviar y recibir mensajes de texto, acceder páginas de internet, tener acceso al correo electrónico, etc. Las tecnologías de telefonía móvil que ofrecen estos servicios son

variadas, cada una tiene sus cualidades y limitaciones, así como también cada una oscila no sólo en precios de instalación sino que en precios de operación y mantenimiento.

Es entonces uno de los principales objetivos de este trabajo de graduación no solamente presentar las características técnicas de las principales tecnologías móviles de transmisión y recepción de datos, sino hacer un profundo estudio comparativo de estos aspectos técnicos y determinar el grado de madurez que tiene Guatemala con respecto a la utilización de los servicios móviles de datos y establecer cómo se compara con otros países del mundo. Es también una parte fundamental de este estudio investigar los costos de implementación de algunas de las tecnologías a estudiar por parte del operador. Cabe destacar que se incluye dentro del presente estudio al sistema Wi-Max, el cual aunque no trabaja sobre una plataforma celular, provee el servicio de transferencia de datos vía inalámbrica. Esto con el afán de comparar las capacidades de una tecnología que evoluciona directamente de una red de datos (Wi-Fi) con las características que ofrecen los sistemas de datos sobre sistemas celulares.

Finalmente, se puede decir que se espera obtener como resultado poseer las herramientas necesarias como para dictaminar qué tecnología móvil de datos se ajusta de mejor manera al mercado guatemalteco, tomando en cuenta básicamente las características técnicas de la tecnología en cuestión, capacidad de evolución de la misma y costos de implementación.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

- Analizar las cualidades y limitaciones técnicas de las principales tecnologías móviles sobre telefonía celular de transmisión y recepción de datos (GPRS, EDGE, Wi-Max, 1xRTT 1xEVDO) y estudiar variables y consideraciones importantes para determinar cuál de los sistemas a estudiar se ajusta de mejor manera a la realidad de Guatemala.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

- Estudiar aspectos técnicos de las plataformas de datos GPRS, EDGE, Wi-Max, CDMA2000 1xRTT y CDMA2000 1xEVDO.
- Analizar características y limitaciones de las tecnologías en cuestión.
- Examinar requerimientos de ancho de banda por los sistemas y su influencia y repercusiones sobre las limitaciones en el espectro radioeléctrico.
- Evaluar las necesidades del mercado guatemalteco con respecto a los servicios ofrecidos por los sistemas a estudiar y hallar una relación costo-beneficio.
- Analizar los costos aproximados de implementación por parte del operador de las tecnologías a estudiar.
- Realizar recomendaciones orientadas al operador o futuro operador de estos sistemas en base al estudio realizado.

- Comparar la madurez de consumo de servicios proveídos por sistemas móviles de datos en Guatemala respecto a otros países a nivel mundial.
- Hallar las tendencias de uso de tecnologías móviles de datos alrededor del mundo y en Guatemala.

## 3. SISTEMAS DE TELEFONÍA CELULAR

### 3.1. Sistema GSM

**3.1.1. Reseña histórica.** El acrónimo GSM se utilizó por primera vez en el año de 1982 para describir al comité (Groupe Spécial Mobile) que desarrollaría el novedoso estándar de telecomunicaciones móviles que pronto se convertiría en la tecnología de comunicación inalámbrica más utilizada alrededor del mundo. Se establecieron los 3 grupos que definirían y describirían esta nueva tecnología:

- Grupo de interfaz radial
- Grupo de definición de protocolos de transmisión y señalización
- Grupo de arquitectura de red

Para 1985 el estándar inicial ya estaba completo y un par de años después se inician las primeras pruebas en campo, las cuales fueron exitosas y dan los primeros indicios que esta tecnología efectivamente opera según lo planeado.

En el año de 1991 los primeros sistemas GSM fueron implementados comercialmente y el significado de sus siglas cambió a Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications) de modo que éstas representaran de mejor manera a la tecnología en mención.

Para el año de 1992 muchos países europeos habían adoptado esta nueva tendencia en las telecomunicaciones móviles y varias naciones alrededor del mundo estaban mostrando interés. A finales de 1993 mundialmente existían más de 1 millón de usuarios, siendo Alemania el país con mayor cantidad de suscriptores.

La fácil implementación y el mejoramiento a través de los años de esta tecnología ha resultado en un gran éxito comercial, tanto para proveedores como para operadores del servicio.

**3.1.2. Arquitectura de red.** Los sistemas de comunicación inalámbrica actuales están basados en una serie de equipos alámbricos e inalámbricos que interactúan entre sí. Este caso se conserva para GSM, el cual consiste en una combinación de 3 subsistemas principales: el subsistema de red (NSS), el subsistema de radio (BSS) y el subsistema de operación (OSS).

**3.1.2.1. Subsistema de Red (NSS).** El NSS forma la parte central de la red. Mientras que el BSS provee el acceso de radio para la estación móvil, los elementos dentro del Subsistema de Red son responsables del control y los accesos de base de datos requeridos para establecer las conexiones requeridas en una llamada telefónica. Encriptación y autenticación son algunas de las funciones más importantes del NSS.

Los sistemas dentro del NSS básicamente son 4:

- MSC (Centro Móvil de Conmutación)
- HLR (Registro de Posición Local)/Centro de Autenticación (AuC)
- VLR (Registro de Posición de Visitantes)
- EIR (Registro de Identificación de Equipo)

Estos elementos están todos interconectados directa o indirectamente. La topología del NSS es de por sí más flexible que el BSS, pues sus componentes no se deben apegar tan estrictamente a una jerarquía establecida.

**3.1.2.1.1. Registro de Posición Local (HLR) y Centro de Autenticación (AuC).** Toda red móvil requiere acceder permanentemente a por lo menos un HLR. Y es que el HLR es el componente dentro de la red que se puede visualizar como una gran base de datos, el cual debe mantener sus tiempos de acceso tan cortos como sea posible. Mientras más rápido pueda el sistema acceder a la base de datos, más rápido será posible conectar una llamada. Además ésta debe ser capaz de manejar requisiciones para miles de suscriptores a la vez.

El HLR maneja parámetros específicos de cada suscriptor y es considerado como el punto de referencia para los servicios que puede utilizar un usuario. Almacena también la ubicación actual del móvil.

El Centro de Autenticación (AuC) se considera como una parte integral del HLR y aunque algunos consideran al AuC como un módulo aparte, nunca se llegó a especificar en detalle sus características individuales como para considerarlo una entidad autónoma. Es por esto que dado que su función principal es la de proveer la autenticación a los suscriptores, se podía integrar éste al HLR pues ambos necesitan de interacción para realizar las funciones de cada uno. Son interdependientes.

**3.1.2.1.2. Registro de Posición de Visitantes (VLR).** Al igual que el HLR, el Registro de Posición de Visitantes es una base de datos con información de los suscriptores, pero sus funciones son diferentes. Mientras que el HLR es responsable por funciones más estáticas y contiene mayor información acerca de todos los suscriptores en general, el VLR administra ciertos datos del suscriptor en forma dinámica, en otras palabras, administra datos de únicamente los móviles que estén presentes en su área de cobertura.

**3.1.2.1.3. Centro de Conmutación Móvil (MSC).** El Centro de Conmutación Móvil es la parte principal no sólo del NSS sino de toda la red GSM. Su labor principal es la de coordinar el establecimiento de llamadas para los

usuarios de GSM. Por un extremo el MSC se conecta hacia los BSC's y por el otro se conecta a una red externa, que por lo general es la red de telefonía pública PSTN.

Dentro de las funciones del MSC se pueden listar:

- Coordinación en el establecimiento de llamadas.
- Distribución dinámica de recursos.
- Manejo de *handovers*.
- Facturación
- Redistribución de frecuencias para los BTS's
- Encriptación
- Cancelación de eco.

**3.1.2.1.4. Registro de Identidad de Equipos (EIR).** El Registro de Identidad de Equipos guarda información acerca del tipo de estación móvil en uso y dentro de sus principales características está que puede evitar que se realicen llamadas de terminales que se han reportado como robadas. Cabe resaltar que el EIR no identifica a los usuarios por información dentro de la SIM, sino por un identificador único dentro del aparato móvil llamado IMEI, el cual no puede ser alterado sin destruir el teléfono.

Básicamente el EIR es una Base de Datos, la cual mantiene dentro de su memoria 3 campos:

- La lista blanca: Lista de estaciones móviles permitidas por la red.
- La lista negra: Lista de estaciones móviles no permitidas para operar en la red.
- La lista gris: Lista de estaciones móviles a las que se les puede rastrear.

La mayoría de operadores a nivel mundial no poseen un EIR pues no forma una parte esencial para el funcionamiento de la red. Solamente aquellos operadores que por normas del país o por seguridad de sus usuarios quieran restringir y limitar el uso de teléfonos celulares robados tendrán un EIR.

**3.1.2.2. Subsistema de Estación Base (BSS).** El Subsistema de Estación Base agrupa al equipo que administra la comunicación radial entre el NSS y las estaciones móviles en un área determinada. El BSS además debe reportar sus funciones al OSS, el cual se encarga de monitorear lo realizado por el Subsistema de Estación Base.

Los sistemas dentro del BSS son básicamente 3:

- Estación Base BTS
- Controlador de Estaciones Base BSC
- Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad TRAU

**3.1.2.2.1. Estación Base (BTS).** La estación base provee la conexión entre la terminal del usuario y la red GSM. Es decir, es responsable por la transmisión y recepción de señales de radio desde la unidad móvil a través de la interfaz de aire. Para esto las señales son codificadas, encriptadas, multiplexadas, moduladas y alimentadas a la antena del sitio.

Las funciones principales realizadas por la BTS son:

- Sincronizar las señales transmitidas entre la BTS y la estación móvil.
- Proveer de la comunicación de voz sobre los canales dedicados.
- Decodificar, desencriptar y demodular la señal recibida por el móvil.
- Manipular el *handover* entre celdas de un mismo sitio.

**3.1.2.2.2. Controlador de Estaciones Base (BSC).** El Controlador de Estaciones Base forma la parte principal del BSS, es la inteligencia detrás de los BTS's. En otras palabras, es el encargado de ubicar los canales de radio, recibir medidas desde las terminales móviles y controlar handovers entre BTS's. En fin, distribuye y maneja en una forma eficiente los recursos radiales con los que cuenta. Una función que hay que destacar es que actúa como un concentrador de conexiones, en

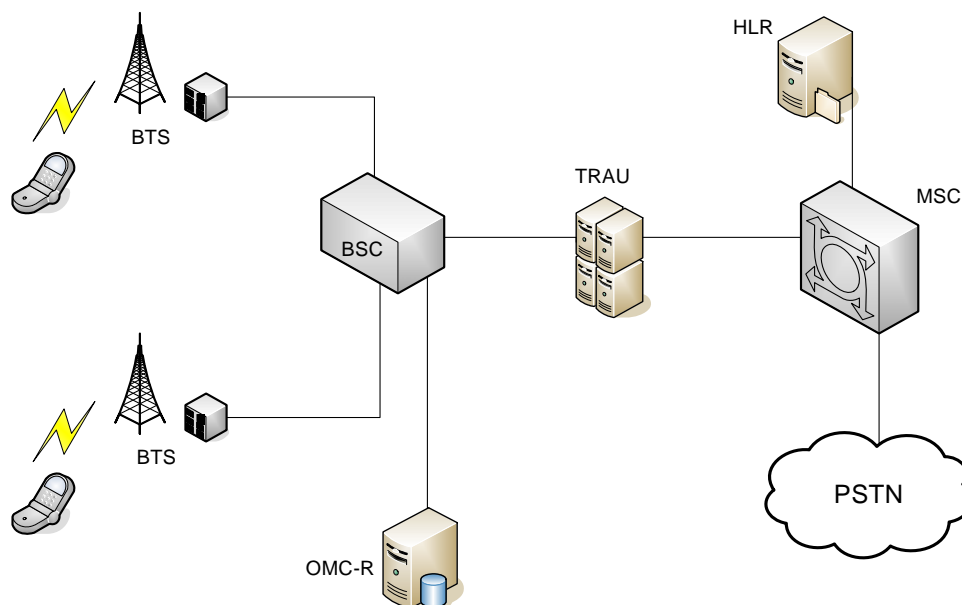
donde varias estaciones base se conectan al MSC por medio de una sola conexión que sale de BSC.

Otras funciones realizadas por un BSC son:

- Asignar frecuencias a todas las terminales bajo su control.
- Controlar la transmisión de potencia de señal entre un BTS y un MS.
- Manipular los recursos de radio para los BTS's a cargo.
- Controlar el salto en frecuencia (*frequency hopping*).
- Proveer la interfaz hacia el Centro de Operación y Mantenimiento, el cual se encarga de monitorear las actividades principales de la red.

**3.1.2.2.3. Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad (TRAU).** La Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad es el elemento ubicado entre el BSC y el MSC que se encarga de comprimir y descromprimir la voz. Convierte la voz que es transmitida a una velocidad de 13 kbps a 16 kbps y posteriormente multiplexa 4 canales de estos en un canal de 64 kbps, el cual es un estándar que puede manipular la red pública de telefonía.

**Figura 1. Arquitectura de red GSM**



**3.1.3. Procesamiento de llamadas.** El proceso de generación de una llamada incluye varios pasos que van desde la sincronización del móvil con la red GSM hasta la finalización de la llamada como tal. En este participan la mayoría de elementos descritos previamente en la Arquitectura de Red, aunque principalmente toman parte el móvil, el subsistema BSS, el MSC, el VLR, el HLR, la red pública de telefonía y la terminal que genera la llamada o a quien se le hace la llamada.

**3.1.3.1. Sincronización y autenticación.** Para realizar la sincronización y autenticación la estación móvil busca en el espectro radioeléctrico asignado las frecuencias con más potencia y se engancha a la más potente. Posteriormente determina si la frecuencia a la que se fijó es apropiada. En caso de no ser apropiada busca la siguiente frecuencia más fuerte. Una vez se sincroniza la terminal con la red, ésta envía la solicitud de asignación de un canal, la cual es decodificada por la BTS y enviada al BSC. Al tener un canal asignado, el teléfono envía información del abonado a la red, la cual es autenticada por medio del VLR y el AuC, quienes a su vez informan al HLR si el usuario ha pasado las pruebas de autenticación. En este punto la estación móvil está sincronizada con la red y ha sido aprobada por el sistema como usuario permitido dentro de la misma red.

**3.1.3.2. Generación de llamadas.** La terminal inicia el establecimiento de la llamada al enviar un mensaje de “SETUP” o establecimiento al MSC, el cual chequea los permisos y capacidad del abonado con el VLR con respecto al servicio solicitado. Si el VLR aprueba los permisos necesario para la realización de la llamada, el conmutador le envía a la terminal un mensaje de aprobación para la generación de la llamada. Además el MSC genera toda la señalización necesaria para que el recipiente del lado de la PSTN timbre y le envíe un ISUP al MSC, el cual es un mensaje en el que se afirma que ha recibido la solicitud de llamada. Posterior a esto el Centro de Conmutación Móvil alerta a la terminal que su solicitud fue recibida por el usuario a quien se desea llamar y tan pronto éste último contesta la llamada, la PSTN envía al MSC una confirmación que se ha contestado la llamada. Aquí es cuando el

Centro de Conmutación Móvil conecta ambas terminales y le asigna a la estación que inició la llamada un canal de voz (TCH). Finalmente la llamada es conectada y ambos usuarios pueden conversar.

**3.1.3.3. Finalización de la llamada.** La finalización de la llamada telefónica puede ser hecha ya sea por el abonado móvil o por el usuario en la red pública de telefonía. Si la estación móvil concluye la llamada ésta envía un mensaje de *desconexión* al MSC, el cual envía de vuelta un mensaje de *liberación* y la terminal al recibir este mensaje manda un mensaje de *liberación completada* al Centro de Conmutación Móvil. El MSC lanza ahora el mensaje de liberación a la PSTN mientras el BSC le solicita a la terminal móvil regresar al modo de espera. La estación base desconecta al teléfono de la red y a petición de la BSC libera el canal utilizado por la terminal móvil. Finalmente la red pública de telefonía le informa a la otra terminal que la llamada ha concluido con el respectivo tono. Si la finalización de la llamada la inicia el móvil presente en la PSTN éste distribuye el mensaje de liberación al MSC, el cual desconecta la llamada por medio del BSS y envía de vuelta el mensaje de *liberación completada* a la red pública.

## 3.2. Sistema CDMA

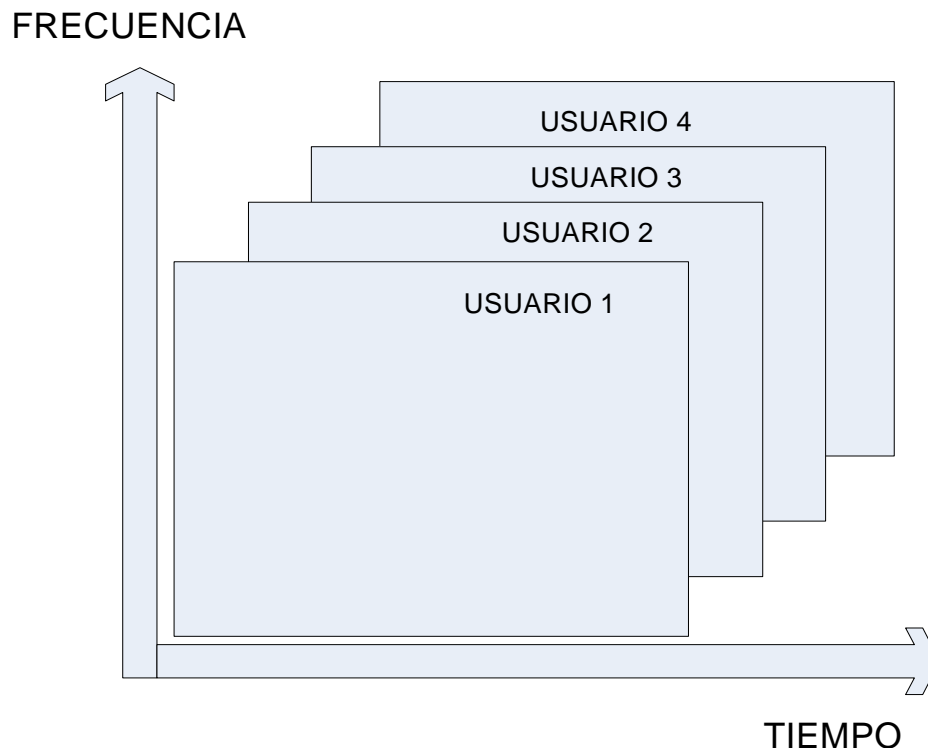
El sistema CDMA utiliza básicamente la misma arquitectura que GSM, es decir, en forma general cuenta con un subsistema de red NSS, un subsistema BSS y un OSS. Dentro de estos subsistemas también se puede destacar la presencia de módulos como el Centro de Conmutación (MSC), el Controlador de Estaciones Base (BSC), Estaciones Base (BTS) y el Registro de Posición Local (HLR). Es por esto que dado las semejanzas generales en la arquitectura de red del sistema CDMA con el GSM, se procederá a analizar las diferencias y aquellos aspectos únicos de la tecnología CDMA.

**3.2.1. Modulación.** Los canales de CDMA utilizan 2 tipos de modulación: Modulación por Desplazamiento de Fase Binario (BPSK) y Modulación por

Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK). BPSK se basa en la conversión de bits binarios en desplazamientos de fase de la portadora sin cambiar la frecuencia de la misma. Este método sólo emplea dos desplazamientos de ángulo, 0 y 180 grados. Por otro lado QPSK también trabaja sobre el desplazamiento de fase, pero la diferencia estriba en que utiliza 4 desplazamientos de ángulo.

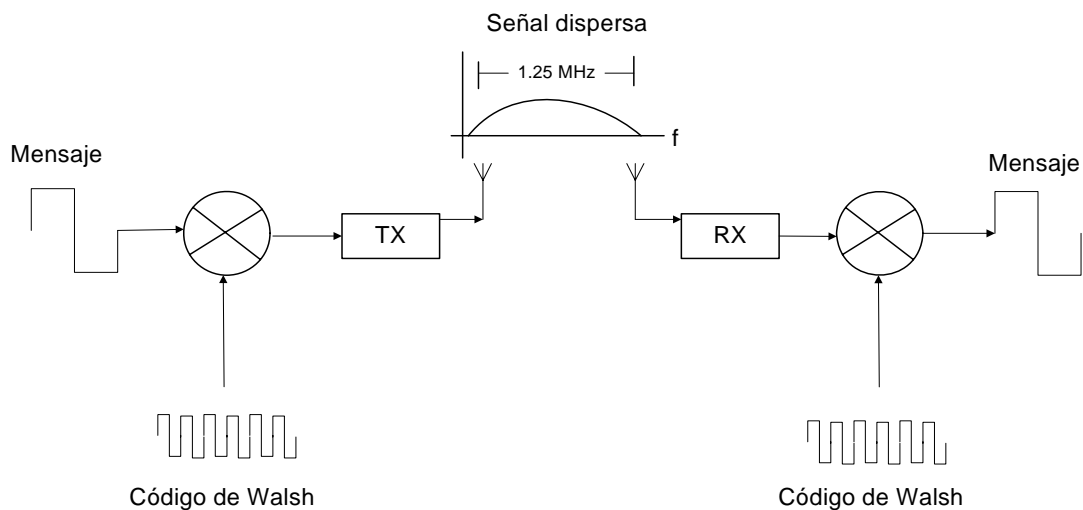
**3.2.2. Acceso de radio.** A diferencia de otras tecnologías en donde ya sea que el espectro disponible sea dividido entre los usuarios (FDMA) o que una frecuencia específica sea asignada a los abonados en distintos espacios de tiempo (TDMA), en CDMA todos pueden utilizar una misma frecuencia portadora al mismo tiempo y las señales son diferenciadas y separadas entre ellas a través de códigos especiales. A cada abonado se le proporciona un código, el cual se aplica como una modulación en donde se transforma la señal del usuario en una versión codificada. Para demodular la señal, el receptor necesita disponer de la misma señal codificadora para recuperar la señal original.

**Figura 2. Acceso de radio en CDMA**



La técnica utilizada para realizar lo anteriormente descrito se conoce como *Spread Spectrum* o Espectro Disperso. Básicamente lo que hace es que la señal original se dispersa sobre otra señal, Código de Walsh, que tiene un ancho de banda mayor a la original. Por ejemplo, si la voz con un ancho de banda de 3 kHz se modula con una señal de 1.25 MHz de ancho de banda, la señal resultante termina teniendo un ancho de banda de 1.25 MHz.

**Figura 3. Modulación-Demodulación en CDMA**



Además de la modulación que se realiza con el código de Walsh, CDMA utiliza otra codificación en sus canales inversos y directos para distinguir a las estaciones base y a los suscriptores. Estos códigos se conocen como Secuencias de Pseudorruído o simplemente Secuencias PN.

Cada usuario tiene su propio código de dispersión el cual se conoce como Secuencia Larga PN. Es importante esta secuencia en la transmisión inversa pues la estación base necesita de alguna manera identificar a los distintos usuarios de los cuales recibe información.

Por el contrario en el caso de la transmisión directa, una estación móvil necesita distinguir entre las distintas estaciones base para poder engancharse a la más apropiada. Para que la terminal pueda diferenciar y decidir el sector de determinada estación base a la que se tiene que enganchar, existe un código que distingue las celdas. Este código es conocido como Secuencia Corta PN y puede tomar uno entre 512 valores distintos. Dado al número limitado de estas secuencias, es necesario reutilizar los códigos de manera inteligente de modo que se puedan distribuir estos en toda la red, garantizando que una estación móvil no reciba una misma Secuencia Corta PN de dos celdas distintas.

**3.2.3. Traspaso (Handover).** El traspaso o handover es el proceso por el cual una estación móvil mantiene la comunicación en una llamada telefónica al moverse del área de cobertura de una celda a otra. A diferencia de sistemas como FDMA, TDMA y GSM en donde al hacer un handover entre celdas o entre sectores se cambia de frecuencia a la cual se está enganchado y por lo tanto se corta la comunicación momentáneamente, en CDMA debido a que todas las BTS's usan la misma frecuencia es posible crear una conexión con una celda antes de dejar la conexión actual.

Los traspasos pueden mantener una llamada bajo las siguientes condiciones:

- El suscriptor llega a los límites de una celda.
- La terminal experimenta ruido o interferencia por encima de los límites establecidos.
- La estación base que le provee servicio al usuario experimenta problemas.

El traspaso suave es una de las principales características de CDMA. Ocurre cuando una estación móvil inicia una comunicación con una nueva estación base antes de interrumpir comunicación con la estación base actual. Este sólo ocurre entre BTS's que emplean el mismo canal de frecuencia y que operan bajo el mismo BSC y MSC. Este tipo de traspaso además de prevenir la caída de una llamada, mejora la calidad de la misma.

## 4. TECNOLOGÍAS MÓVILES DE DATOS

### 4.1. GPRS

Poco después de la implementación de las primeras redes GSM fue evidente que proveer servicios de datos en sistemas de conmutación de circuitos no era apropiado para cierto tipo de aplicaciones que requirieran de un mayor flujo de paquetes. La conexión vía conmutación de circuitos tiene un largo tiempo de acceso a la red y el cobro de la llamada es basado en tiempo de conexión. Por el contrario, en redes de conmutación de paquetes, el tiempo de acceso a la red es considerablemente menor y la conexión no reserva los recursos permanentemente, es decir los recursos son utilizados según vayan siendo requeridos. Para esto se emplean técnicas que permiten que los recursos radiales en la interfaz de aire se usen solamente cuando hay datos que necesitan ser enviados o recibidos. Además, una vez un paquete de datos ha sido transmitido por la interfaz de aire, los recursos de radio son liberados para uso de otros suscriptores.

**4.1.1. Requisitos y características de GPRS.** GPRS explota las características y beneficios de las redes de conmutación de paquetes y se integra dentro del existente sistema GSM. El impacto de implementación es mínimo. El HLR tiene que ser actualizado para manejar dentro de su Base de Datos los servicios proveídos por GPRS, la BTS tiene que tener radios que permitan los nuevos algoritmos de codificación para GPRS y el BSC tiene que tener la habilidad de distribuir los paquetes de voz a la red GSM y los paquetes de datos a la red GPRS por medio del PCU. Además el usuario debe ser capaz de sostener varias sesiones de datos simultáneamente.

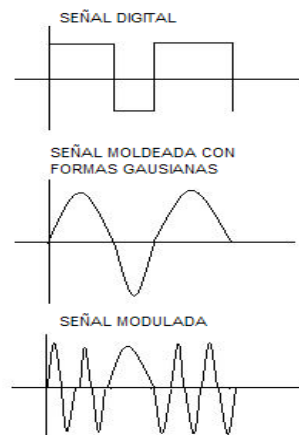
En una red GPRS, un usuario puede acceder redes públicas utilizando protocolos estándar. Una terminal GPRS puede usar entre uno y ocho canales en la interfaz de aire, dependiendo de la capacidad de red y de la capacidad de la misma terminal. Esos canales pueden estar disponibles en forma fija o de manera dinámica, es decir, se utilizan los

canales según vaya siendo requerido y si éstos no son requeridos por el tráfico de voz (GSM). De esta forma, bajo condiciones ideales y si se utilizan 8 canales en la interfaz de aire dedicados a GPRS, el sistema puede llegar a dar una velocidad 160 kbps a una terminal específica.

## 4.1.2. Interfaz radial GPRS

**4.1.2.1. Modulación.** Los datos al ser enviados por la interfaz de aire tienen que ser modulados de modo que puedan ser transportados por la frecuencia portadora desde la estación móvil hasta la BTS y viceversa. GPRS utiliza una modulación conocida como GMSK (Mínimo Desplazamiento Gaussiano) la cual se basa en la modulación de la señal digital por medio de variaciones de frecuencia, similar a lo hecho por MSK. La diferencia estriba en que los pulsos digitales previos a ser modulados son moldeados con formas gaussianas. Una de las limitantes de este tipo de modulación es que dada la naturaleza de la señal gaussiana, al incrementar las tasas de transmisión de datos los lóbulos laterales de los pulsos se empiezan a sobreponer unos sobre otros causando interferencia intersímbolo. En GSM, la modulación GMSK provee una tasa de 1 bit por símbolo, dando como consecuencia una tasa de transmisión de 270.83 ksímbolos/segundo, lo que significa 270 Kbps.

**Figura 4. Señales en modulación GMSK**



**4.1.2.2. Codificación de canal.** La codificación de canal es otro aspecto importante a tomar en cuenta en la capacidad que tiene la interfaz de aire para transmitir datos. GPRS hace uso de 4 tipos distintos de codificaciones conocidas como Coding Schemes, la cuales serán utilizadas por el sistema según las condiciones de C/I que existan en donde esté ubicada la terminal. El throughput final visto por el usuario dependerá directamente del Coding Scheme utilizado y de los canales asignados por la red, ya que aunque la señal modulada puede dar velocidades de datos de hasta 270 kbps, el máximo teórico que se puede alcanzar son 160 kbps empleando 8 canales de datos por un solo suscriptor bajo el CS4.

**Tabla I. Esquemas de codificación para GPRS**

Coding Scheme	Descripción	Máxima Tasa de Transferencia de Datos
CS1	Provee la máxima tasa de transferencia de datos en ambientes donde existan bajos valores de C/I.	8 Kbps
CS2	Incluye bits de chequeo cíclico de redundancia y es utilizado en condiciones de C/I intermedios.	12 Kbps
CS3	Similar al CS2, provee una protección de error más estricta.	14.4 Kbps
CS4	Capaz de proporcionar la máxima tasa de transferencia de datos en GPRS. Usado en condiciones de alto C/I.	20 Kbps

Regis Bates (2002:125)

**4.1.3. Arquitectura de red GPRS.** GPRS trae algunos nuevos componentes a lo establecido por GSM. A continuación se presenta una explicación de los elementos de red más importantes dentro de la arquitectura de GPRS.

**4.1.3.1. Unidad de Control de Paquetes (PCU).** La PCU se encarga de distribuir el tráfico dirigido a la red de conmutación de paquetes que proviene del usuario. Desempeña también todas aquellas funciones relacionadas con el manejo de recursos de radio para la red GPRS. Generalmente el PCU se ubica entre la BSC y el *core* de GPRS y generalmente se usa Frame Relay como tecnología de transporte para la interconexión entre los elementos antes mencionados.

**4.1.3.2. Nodo de Soporte para Servicio GPRS (SGSN).** El SGSN se puede considerar como el elemento más importante de una red GPRS. Este se puede considerar como el MSC de una red GSM, por lo tanto, es indispensable la presencia de por lo menos uno de estos módulos en una red GPRS pues maneja la movilidad de las terminales y ejecuta las funciones de acceso a los servicios. Cabe resaltar que este elemento es el encargado de enrutar paquetes entre la red GPRS y la RAN.

A continuación se presentan sus funciones básicas:

- Autenticación de usuarios.
- Manejo de movilidad de usuarios
- Enrutamiento de datos
- Recolección de CDR's
- Manejo de estadísticas de tráfico
- Compresión de paquetes de datos

**4.1.3.3. Nodo de Soporte para Compuerta de GPRS (GGSN).** El GGSN es la puerta de salida para las redes externas al *core* de GPRS. Cada conexión hacia una red externa tiene que pasar por este elemento. Se puede considerar como el segundo elemento más importante de una red GPRS ya que además de ser el punto común de cualquier sesión, es el módulo encargado de realizar el enrutamiento de paquetes hacia las redes externas de datos.

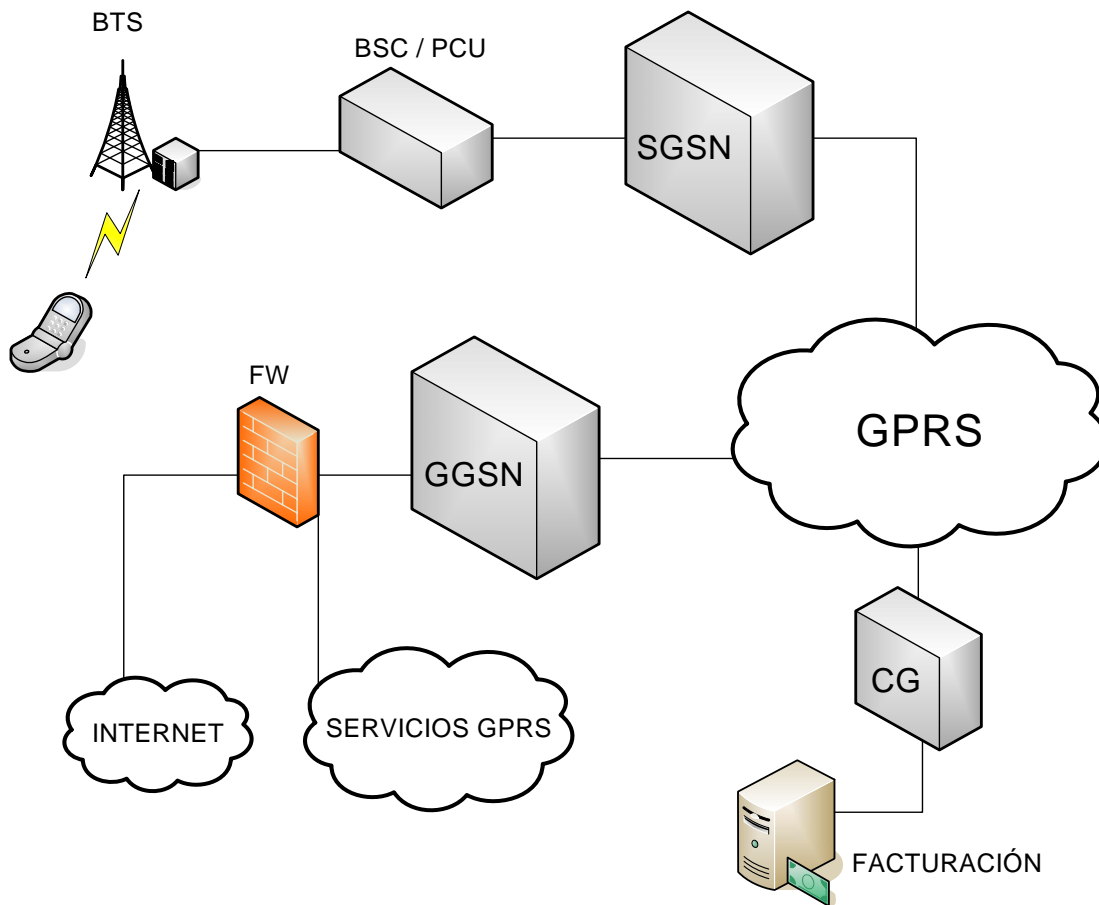
A continuación se describen sus funciones principales:

- Enrutamiento de paquetes que provienen desde una red externa hacia determinado móvil y viceversa.
- Interfaz de red GPRS con redes externas
- Protege y administra la seguridad de la red GPRS.
- Asigna direcciones IP a los móviles (PDP Context).
- Establece túneles con el SGSN y otras redes externas.

**4.1.3.4. Compuerta Frontera (BG).** El BG es básicamente un enrutador que puede establecer una conexión segura hacia redes GPRS de otros operadores, es decir, establece un túnel entre la red de datos local y una red externa. De forma más extensa se puede decir también que es el elemento que mantiene las reglas de roaming entre las distintas redes y asegura la seguridad de la red local con respecto a la de los otros operadores.

**4.1.3.5. Compuerta de Facturación (CG).** La tarificación en GPRS se hace principalmente en base al volumen de datos consumidos y a los privilegios en los servicios del usuario. Tanto el SGSN como el GGSN generan CDR's que contienen la información en bruto sobre la cual se le tarificará al usuario. Es entonces la función del CG recolectar todos estos CDR's, procesarlos y entregarlos al sistema de tarificación para que éste último pueda generar los cobros a los usuarios.

**Figura 5. Arquitectura de red GPRS**



## 4.2. EDGE

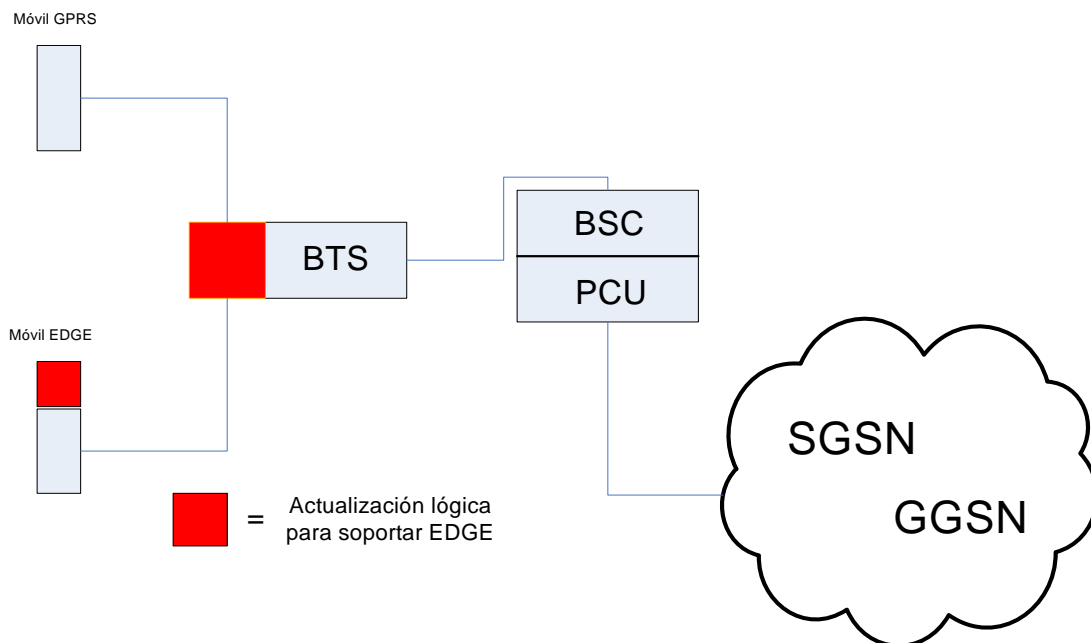
EDGE se puede considerar como el siguiente paso lógico de evolución de redes GSM/GPRS. Esta tecnología brinda un incremento considerable en las tasas de transmisión y recepción de datos comparado con GPRS. Y es que aún cuando GPRS ofrecen servicios de transporte de datos sobre sus redes, la velocidades no llegan a sobrepasar los 115 kbps. EDGE viene estandarizado de manera que se incrementa el *throughput* por canal asignado a datos en la interfaz de aire, llegando a un máximo teórico de 473 kbps. Este mejoramiento sobre la red de conmutación de datos se conoce como EGPRS (*Enhanced Global Packet Radio Service*).

EDGE es un estándar de datos móviles que se implementa sobre redes GSM/GPRS. Permite transmisión de datos a velocidades reales que pueden llegar a los 384 kbps en el modo de conmutación de paquetes. Esto se logra dentro del mismo ancho de banda utilizado por los canales de GSM y en las mismas frecuencias existentes: 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz.

La idea detrás de EDGE es incrementar la tasa de transferencia de datos dentro de los 200 kHz del carrier de GSM modificando únicamente la modulación utilizada y la codificación de canal. Esto es usando la misma infraestructura de red de GSM y GPRS, teniendo así el menor impacto posible en la red.

EDGE todavía se considera como un estándar 2.5 G que forma el punto de transición entre las redes móviles de 2da generación y 3era generación. Cabe aclarar que siguiendo la filosofía de crear el menor impacto posible sobre las redes GSM/GPRS, para introducir EDGE no son necesarias nuevas licencias del operador. Además dado que es utilizado el mismo espectro, para el proveedor del servicio representa una solución de servicios multimedia a bajo costo.

**Figura 6. Arquitectura de red EDGE**



**4.2.1. Principios Generales de EGPRS.** EGPRS reutiliza al máximo todos los conceptos básicos de una red GPRS. La principal ventaja se encuentra en la forma en como se maneja la transmisión radial, es decir, en la nueva modulación y en la introducción de una nueva codificación de canal.

Los conceptos básicos de uso de frecuencia para GPRS no han sido modificados. Los canales lógicos que fueron introducidos para GPRS se utilizan en EGPRS. Los datos se siguen enviando sobre el canal de PDTCH (terminales GPRS y EGPRS se pueden multiplexar en el mismo canal de PDTCH). Los canales de control y señalización se mantienen exactamente igual. Los procedimientos para control de potencia se retienen. Dependiendo de las condiciones de radio, la comunicación se adapta de tal manera que se pueda obtener la mayor tasa de transmisión de datos.

**4.2.2. Características de EGPRS.** La idea general de EGPRS es poder brindar velocidades de transferencia de datos mayores a las de GPRS. Básicamente EGPRS logra su objetivo con una nueva forma de modulación para la interfaz de aire, haciendo posible optimizar el *throughput* de datos dependiendo de las condiciones de propagación de señal con las que se cuenta.

### **4.2.3. Interfaz radial EDGE**

**4.2.3.1. Modulación.** EDGE posee un nuevo esquema de modulación que permite un mayor flujo de datos en la interfaz de aire. Esta técnica de modulación se conoce como Modulación por Desplazamiento de Fase de 8 estados, 8-PSK. La modulación PSK se basa en el desplazamiento de fase de la señal portadora para diferenciar los unos de los ceros de la señal digital. Este tipo de modulación puede codificar 3 bits por símbolo, es decir, comparado con GPRS, es posible transmitir 3 bits sobre el mismo espacio de tiempo. De esta forma la tasa de modulación para EDGE es 810 kbps. Cabe destacar que aunque se introduce 8-PSK como una nueva modulación, todavía se conserva GMSK. Más adelante se explicará la forma en la que se utilizan estas modulaciones en EDGE.

Soporte para la modulación 8-PSK es obligatoria para la terminal en el downlink, pero es opcional en el uplink. En la parte de red, la modulación 8-PSK es opcional, tanto en el uplink como en el downlink. De esta forma, una red puede variar sus características y capacidad dependiendo de su configuración tanto del lado del móvil como de la red.

**4.2.3.2. Codificación de canal.** Nueve esquemas de codificación se proponen para dar razones de transferencia de datos que van desde los 8.8 kbps (en las peores condiciones de propagación de señal) hasta los 59.2 kbps (en las mejores condiciones de propagación de señal) por canal de datos. De esta manera si se utilizan los 8 canales de datos de un radio, podemos llegar a una velocidad de 473.6 kbps. Dado que la distancia entre símbolos en 8-PSK es menor que en GMSK, la posibilidad de error en la interpretación de los símbolos es mayor pues el receptor tendrá más dificultad para determinar qué símbolo fue recibido. En condiciones de baja interferencia, esto no es problema, sin embargo, cuando hay un bajo C/I esto puede llegar a ser un inconveniente. Es por esto que cuando son utilizados los MCS1 – MCS4 se conserva la modulación GMSK.

**Tabla 2. Esquemas de codificación en EDGE**

Codificación	Modulación	Throughput Máximo (kbps)
MCS-9	8-PSK	59.2
MCS-8	8-PSK	54.4
MCS-7	8-PSK	44.8
MCS-6	8-PSK	29.6
MCS-5	8-PSK	22.4
MCS-4	GMSK	17.6
MCS-3	GMSK	14.8
MCS-2	GMSK	11.2
MCS-1	GMSK	8.8

Ericsson (2003:9)

Además de los servicios que ofrece GPRS, EGPRS propone nuevos servicios debido al incremento en las tasas de datos. Y es que aunque la transmisión y recepción de datos con la nueva modulación se incrementa en un factor de 3, la capacidad de la red no se amplía de la misma manera. Esto es debido a la variación del valor de  $C/I$  dentro de la red. Dependiendo de la ubicación de la estación móvil, se requerirá de mayor o menor codificación para optimizar la transmisión, conllevando esto a un *throughput* menor que el máximo.

En resumen, se puede decir que las principales ventajas que provee EGPRS, desde el punto de vista práctico, son que nuevos servicios de datos y multimedia que requieren un alto ancho de banda tales como la transmisión de radio y video a estaciones móviles serán posibles.

### **4.3. CDMA 2000 1XRTT**

CDMA 2000 1xRTT es el primero de un conjunto de estándares de tercera generación sobre CDMA. Esta tecnología se basa en el estándar IS-2000 para el acceso de radio, la red de voz celular y la red IP de paquetes. Dado el enfoque de este trabajo de graduación, solamente se concentrará en la descripción del transporte de datos sobre 1xRTT.

Esta tecnología fue una de las primeras en ofrecer las características de un sistema 3G. Esto se logró mediante el manejo eficiente del espectro y una robusta red de conmutación de paquetes. Velocidades de hasta 144 kbps pueden ser alcanzadas por los usuarios.

CDMA2000 1xRTT utiliza el mismo ancho de banda, 1.25 MHz, que su predecesor CDMA IS-95. Debido a ésta y otras compatibilidades entre los sistemas mencionados, el operador puede elegir migrar a 1x por etapas, es decir, implementar

CDMA 2000 en las regiones o ciudades principales de la red y posteriormente ir ampliando conforme se vaya requiriendo.

Algunas de las características generales de CDMA 2000 1xRTT son:

- Provee altas tasas de transmisión de datos.
- El acceso a la red de datos está disponible como “siempre conectado”.

**4.3.1. Interfaz radial 1xRTT.** El sistema CDMA2000 1xRTT emplea el espectro de radiofrecuencia de una manera más eficaz que el IS-95. El control de potencia es mucho más eficiente y además los requerimientos de potencia en el canal de reversa son menores. Con esto, entre los canales de comunicación existirá menos energía espectral que pueda causar interferencia. Consecuentemente, se incrementa la capacidad de usuarios dentro del canal de 1.25 MHz pues la interferencia entre usuarios es menor.

**4.3.1.1. Modulación.** El estándar IS-2000 mantiene la base de la modulación y codificación utilizada en cdmaOne. Dentro de los cambios más importantes se puede citar que se expande el uso de códigos de Walsh a lo manejado por medio de IS-95, ya que en lugar de disponer de 64 códigos de Walsh ahora se tienen a disposición 128. Es decir, cada sitio maneja 128 canales dentro de los cuales están incluidos canales lógicos y canales de tráfico. En otras palabras, la capacidad de la red se incrementa pues dado que cada sitio tiene más códigos de Walsh disponibles, existen más canales disponibles para tráfico. Otra de las innovaciones importantes en CDMA 2000 1xRTT es que a diferencia de su antecesor, ahora se emplean los códigos de Walsh tanto en el canal del uplink como del downlink, lo que trae como consecuencia un manejo y discriminación más efectiva de los canales lógicos. Cabe destacar la utilidad de los Códigos PN y los Códigos de Walsh. En el canal directo, el Código PN Corto le dice a las terminales a qué sitio están conectados y el Código de Walsh funge como discriminador de los 128 canales disponibles para determinado sitio. De manera análoga, en el uplink cada estación base hace uso del Código PN Largo para identificar a las terminales y

después que la unidad móvil ha sido identificada la estación base procede a demodular sus canales mediante los códigos de Walsh.

Para definir las tasas de transmisión posibles en el estándar IS-2000, surge un concepto importante conocido como Configuración de Radio (RC). La RC es la responsable directa de las tasas de transmisión de datos posibles en CDMA 2000 1xRTT. Cada RC describe la razón de codificación, las características de modulación, la razón de dispersión y la codificación de canal que son necesarias para alcanzar determinada velocidad de transmisión de datos. En el downlink existen 5 RC's, cada una con distintas cualidades. De cierta manera las RC son similares en concepto a los Coding Schemes de GPRS y EDGE. Actualmente sólo existen redes que usan hasta el RC 3, el cual provee hasta 153.6 kbps.

Cabe resaltar también las mejoras en cuanto a codificación de canal. Nuevas codificaciones conocidas como Codificaciones Turbo permiten la codificación de los datos para protegerlos y corregir los posibles daños que puedan tener los datos transmitidos por la interfaz radial.

**Tabla 3. Configuración de radio en CDMA**

Configuración de radio	Modulación	Tasa de transmisión máxima en canal directo	Tasa de transmisión máxima en canal reversa
RC1	BPSK	9.6 kbps	9.6 kbps
RC2	BPSK	14.4 kbps	14.4 kbps
RC3	QPSK	153.6 kbps	153.6 kbps
RC4	QPSK	307.2 kbps	230.4 kbps
RC5	QPSK	230.4 kbps	230.4 kbps

Samuel Yang (2004:14)

Como dato adicional, es necesario mencionar que la transmisión de datos se realiza solamente en el Canal Suplementario (SCH) y en el Canal Dedicado de Control (DCCH).

**4.3.2. Arquitectura de red 1xRTT.** La arquitectura de red en 1xRTT es algo totalmente novedoso a lo que se venía manejando con IS-95. CDMA2000 trae una red de conmutación de paquetes que permite al usuario acceso a datos de forma inalámbrica en altas velocidades.

Nuevos componentes y módulos son presentados en la red de datos. A continuación se presenta una descripción de cada uno de ellos.

**4.3.2.1. Módulo Controlador de Paquetes (PCF).** El Módulo Controlador de Paquetes o PCF es el elemento en la red de acceso que filtra y distribuye los paquetes entre el subsistema de estación base y el PDSN. Por lo general el PCF ya es una parte integral del BSC. Además, el PCF es el módulo que le provee al usuario la sensación de siempre estar conectado a la red de datos, en el sentido que en el caso que existan paquetes desde Internet hacia determinado móvil que no tiene asignados recursos de radio, el PCF mantendrá los paquetes guardados hasta que le sea proveídos recursos a la terminal.

**4.3.2.2. Nodo de Servicio de Paquetes de Datos (PDSN).** El Nodo de Servicio de Paquetes de Datos es el elemento principal de la red de paquetes de CDMA 1xRTT. Su función principal es la de enrutar paquetes entre la red de acceso de radio y la red IP del operador. Además es el operador principal de paquetes hacia los distintos servicios proveídos sobre la red de datos.

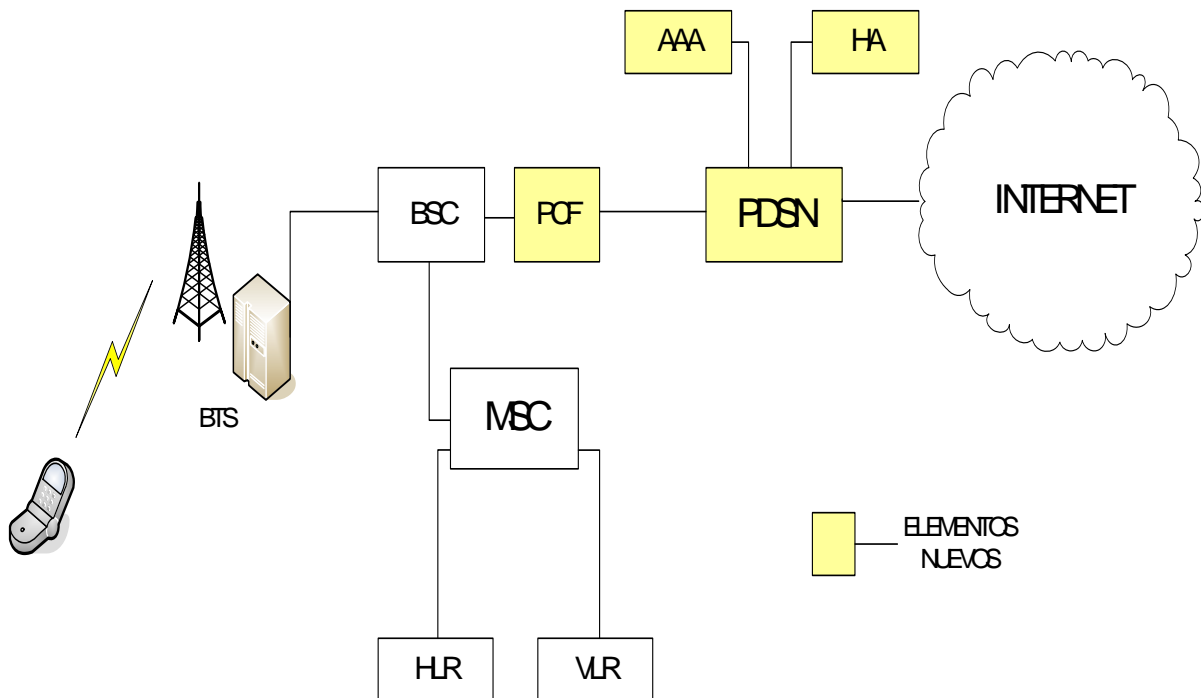
**4.3.2.3. Agente Local (HA).** El Agente Local se encarga de mantener un registro de la ubicación de los suscriptores aprovisionados para utilizar la red de datos. Dado que un usuario puede estar en constante movimiento, el HA es el

encargado de seguirlo, de modo que el suscriptor tenga acceso a los servicios proveídos por la red sin importar el lugar donde se encuentre. Generalmente el HA es una parte integral de PDSN.

#### 4.3.2.4. Servidor de Autorización y Autenticación

(AAA). El Servidor de Autorización y Autenticación es el módulo que aprueba o rechaza el acceso a la red de datos. Se le puede considerar como el equivalente del HLR en la red de conmutación de paquetes, ya que mantiene una base de datos con los servicios habilitados para los distintos usuarios y en base a ésta es que determina quién tiene acceso a determinado servicio. Cabe resaltar que independientemente de la autorización dada por el AAA, el suscriptor necesita estar previamente autorizado por el HLR para usar los recursos de acceso de radio.

Figura 7. Arquitectura de red 1xRTT



## 4.4. CDMA 2000 1xEVDO

CDMA 2000 1xEVDO es una tecnología que ha evolucionado del estándar IS-2000 y que actualmente se consolida como uno de los sistemas de comunicación de datos inalámbrica más robustos y populares. EVDO es capaz de proveer servicios de datos de tercera generación con tasas de transmisión de hasta 2.45 Mbps. Los canales de EVDO operan como “siempre conectados” de modo que los usuarios tienen acceso a los servicios de datos de una manera casi instantánea.

El sistema EVDO, el cual por sus siglas en inglés significa Evolución Optimizada de Datos, está basado en el estándar IS-856 y es una red exclusivamente de datos. Es decir, a diferencia de 1xRTT en donde sobre la misma portadora se podía manejar tráfico de voz y de datos, en EVDO únicamente se permite transmisión de datos. Esta tecnología opera en las mismas frecuencias sobre las cuales trabajan sus antecesores, los estándares IS-95 e IS-2000, y optimiza la portadora de 1.25 MHz para dar altas velocidades de transporte de datos.

Cabe destacar que operadores con las tecnologías cdmaOne o CDMA 2000 1xRTT pueden implementar EVDO realizando cambios mínimos en sus sistemas. Incluso, al pasar de 1xRTT a 1xEVDO se conserva el core de la red de datos. En otras palabras, sólo la red de acceso de radio cambia (BTS y BSC). Es importante mencionar que EVDO necesita, por lo menos, una portadora dedicada para su funcionamiento, ya sea que se intercambie una portadora de IS-95 ó IS-2000 por una portadora IS-856 ó que se adquiera una nueva portadora para EVDO.

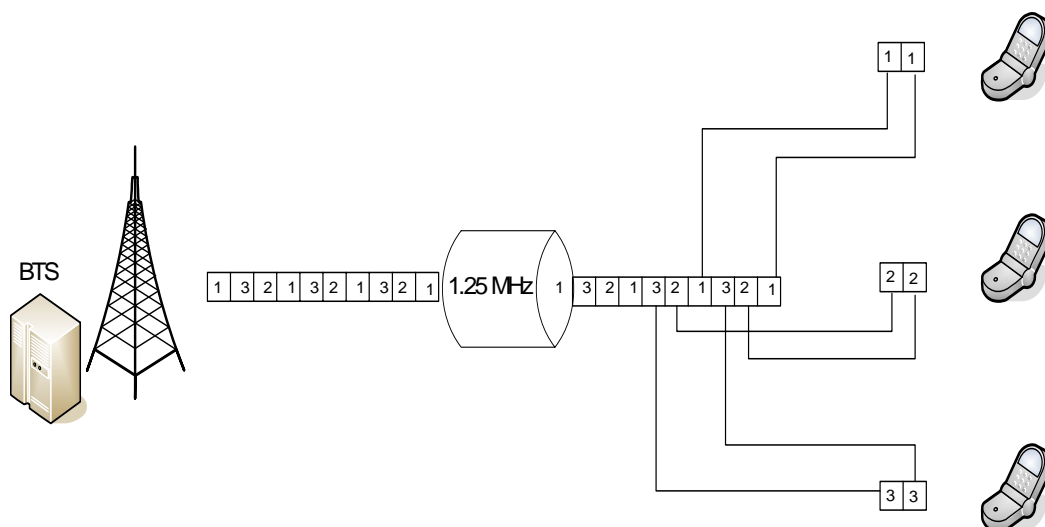
Existen tres características importantes que distinguen a CDMA 2000 1xEVDO:

- Las tasas de transmisión de datos son asimétricas. En el canal directo las razones de transmisión de datos son mayores que las que se alcanzan en el canal de reversa.

- Latencia puede ser tolerada. Retardos de algunos segundos pueden ser permitidos, aunque esto puede ser un problema si se desea implementar una tecnología VoIP en la red.
- Las transmisiones son por ráfagas. Dada esta característica se aprovecha del acceso por TDM.

**4.4.1. Interfaz radial EVDO.** Tal y como fue explicado, el sistema EVDO necesita por lo menos una portadora asignada exclusivamente para su funcionamiento. A diferencia de las redes CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 1xEVDO se basa en multiplexación por división de tiempo (TDM) en el canal de downlink. Debido a esta característica, no hay traspasos suaves (soft handoffs) al momento de descargar datos y solamente una terminal recibe tráfico a la vez. La portadora está dividida en 16 Espacios de Tiempo, siendo cada Espacio de Tiempo es de 1.67 ms. La tasa de chips en la portadora, al igual que en 1xRTT, es de 1.228 Mcps. Cabe mencionar que dependiendo de los suscriptores que estén utilizando los recursos de determinada celda se distribuirán los Espacios de Tiempo para cada usuario.

**Figura 8. Multiplexación de usuarios en 1xEVDO**



Otro de los cambios más significativos presentes en la interfaz de aire del estándar IS-856 son los nuevos codificadores que incrementan los niveles de protección para poder transmitir datos a baja potencia, mejorando así el throughput general del sistema.

**4.4.1.1. Modulación.** La modulación para EVDO es dinámica. Ésta se conoce bajo el nombre de Modulación Adaptativa y permite que el sistema optimice la máxima tasa de transferencia de datos según las condiciones presentes. Por ejemplo, en el caso en que la terminal de acceso se halle operando cerca de un punto de acceso, con buena potencia de señal y bajos niveles de interferencia, puede usar una modulación robusta (16-QAM) que permita un mayor flujo de datos por el canal de radio. Los tipos de modulación que son empleados son BPSK, QPSK, 8-PSK y 16-QAM. Las tasas de transmisión son variables por naturaleza y se encuentran en un rango de 38.4 kbps hasta 2.2576 Mbps. Según estudios en campo realizados por Verizon Wireless las tasas promedio son de 600 kbps. Esto es un incremento de 6 veces la capacidad de transferencia de datos de CDMA 2000 1xRTT.

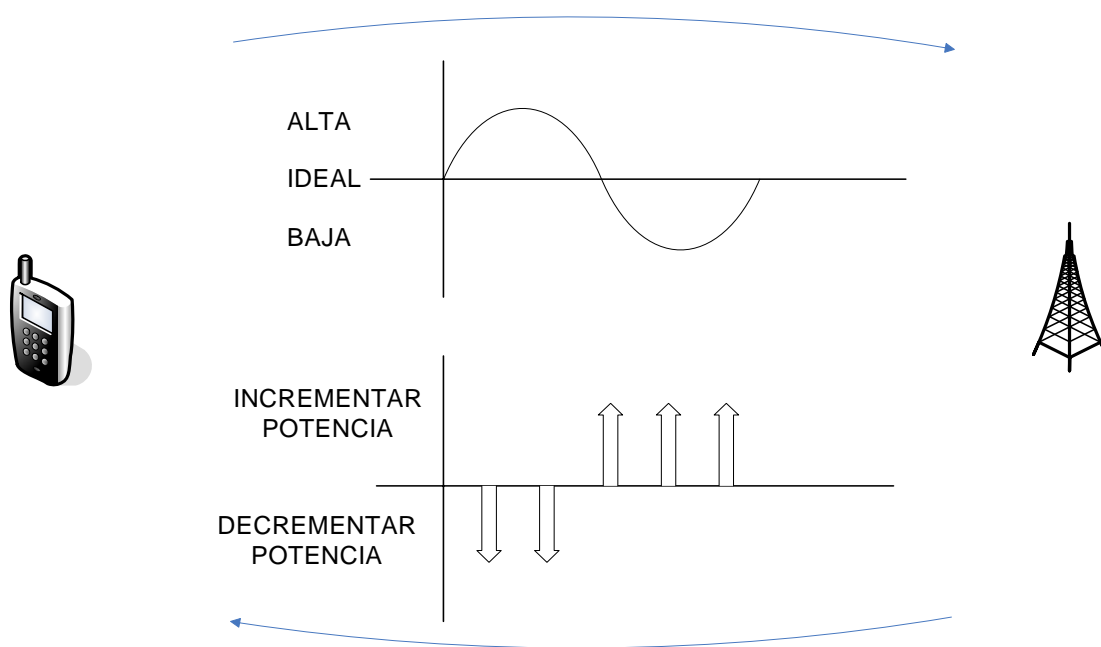
Cabe resaltar también que no existe control de potencia en la transmisión de datos que van de la estación base hacia el móvil, es decir, en esta dirección siempre se transmitirá a una potencia predefinida. Más bien, en el downlink se tiene un control de tasa de transmisión. Por ejemplo, si una terminal se mueve de un lugar donde tiene buena señal hacia un lugar con poca potencia de señal, en lugar de incrementar su potencia la BTS, ésta reducirá la razón de transmisión hacia la unidad móvil. El control solamente se ejecuta en la dirección uplink de la transmisión.

**4.4.1.2. Control de potencia.** El control de potencia es uno de los procesos más importantes en cualquier sistema de comunicación inalámbrico. El éxito en la transmisión de datos en la interfaz de aire está directamente relacionado al nivel de potencia al cual transmiten tanto la antena del sitio como la antena de la estación móvil.

El control de potencia en EVDO para el canal de reversa se consigue detectando constantemente la potencia de la señal en la radio base, de modo que si ésta detecta algún

nivel no deseado proveniente del móvil, puede enviar mensajes al mismo para que éste incremente o decremente la potencia con la cual está transmitiendo información. Es preciso recalcar que este control de potencia sólo se realiza con respecto a las señales que van desde la terminal hacia la estación base, pues esta última siempre transmite a su máxima potencia. De esto se puede deducir que las estaciones móviles que estén más alejadas de los puntos de acceso transmitirán datos a velocidades más lentas pues necesitarán de modulaciones más complicadas para enviar correctamente la información.

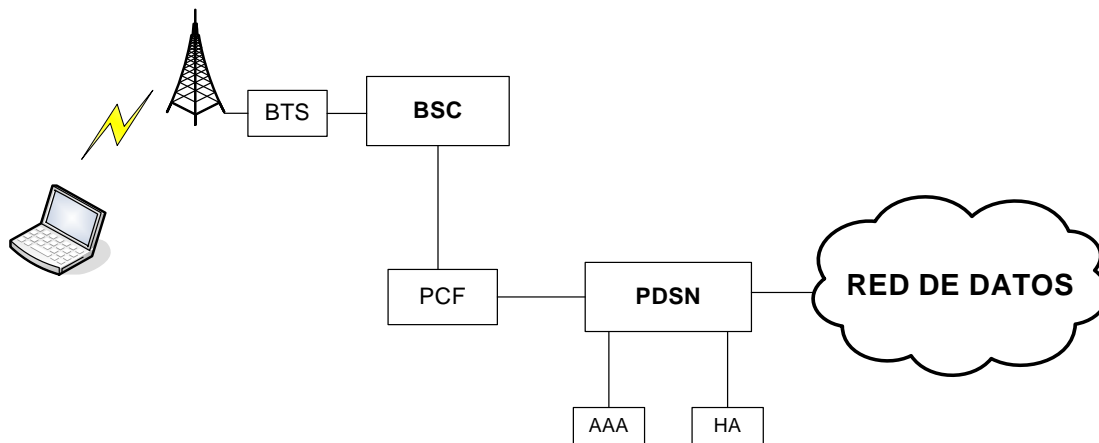
**Figura 9. Control de potencia en 1xEVDO**



**4.4.2. Arquitectura de red EVDO.** Uno de los desafíos más grandes de las redes EVDO es proveer un eficiente transporte de datos sin realizar cambios en el corazón de la red de datos de CDMA 1xRTT. Esto lo logra en gran medida al compartir elementos importantes con 1xRTT. Elementos tales como el PCF, el PDSN y el centro de autenticación y autorización son reutilizados y compartidos con el predecesor de EVDO, reduciendo considerablemente costos de implementación del sistema. Dicho de mejor manera, el estándar IS-856 no define una nueva arquitectura en la red de datos.

Las desigualdades más significativas estriban en que a diferencia de sus antecesores, EVDO no requiere directamente del MSC o del HLR. Es decir, la autenticación y autorización necesaria se realiza completamente en el servidor AAA.

**Figura 10. Arquitectura de red 1xEVDO**



## 4.5. WIMAX

A diferencia de otras tecnologías móviles de datos descritas en este trabajo, WIMAX no está implementada sobre una estructura de telefonía celular. Más bien, evoluciona directamente de redes LAN como el estándar Wi-Fi, es decir aplica la misma idea de redes inalámbricas pero en redes MAN. Cabe aclarar que aunque WiMax y WiFi comparten ciertas características técnicas, éstas manejan el espacio radial desde perspectivas completamente diferentes.

WiMax se presenta también como un fuerte competidor de aquellas tecnologías celulares que ofrecen plataformas de datos inalámbricas de 2da y 3era generación. Estos sistemas aunque ingresaron primero en el mercado con sus servicios de datos, sus

propuestas básicamente se posicionan como servicios agregados al servicio principal que ofrecen, comunicación de voz.

Wi-Max, cuyo significado es Acceso de Microonda para Interoperabilidad Mundial, es un estándar definido por la IEEE (802.16) y actualmente es promovido por un grupo de empresas privadas que han formado lo que se conoce el Forum WiMax. Este desarrolla y mejora la técnicas de interoperabilidad del estándar de modo que pueda asegurar la adaptabilidad para los distintas empresas que deseen desarrollar esta tecnología, resultando en bajos costos de productos basados en estándares abiertos, en otras palabras, estándares no propietarios.

En sus principios, el estándar de WiMax utilizaba las bandas ubicadas entre las frecuencias 10 GHz y 66 GHz. El problema con utilizar estas frecuencias era que debido al mismo hecho que se encuentran en un rango muy alto, era necesario que existiera línea de vista entre los 2 puntos a comunicar. La capacidad de penetración para señales a frecuencias tan altas se reduce considerablemente. Es por esto que más adelante las bandas entre las frecuencias 2 GHz y 10 GHz fueron agregadas en una versión posterior, de modo que no fuera necesario línea de vista entre los dispositivos a comunicar y la pérdida de la señal al atravesar obstáculos fuera reducida.

El constante desarrollo hecho sobre el estándar IEEE 802.16 amplía y mejora todas aquellas características que ya posee, principalmente la de movilidad, de tal manera que aplicaciones como terminales móviles con tecnología VoIP serán una realidad. El último arreglo al estándar (802.16e) soporta movilidad en el sistema WiMax.

### 4.5.1. Evolución de WIMAX

Tabla 4. Evolución estándar IEEE 802.16

IEEE 802.16	IEEE 802.16c	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Línea de Vista necesaria Frecuencia: 10-66 GHz Velocidades hasta 134 Mbps	Operabilidad entre estaciones base ( <i>handover</i> )	Frecuencia: 2-11GHz No es necesaria línea de vista	Modificaciones menores a 802.16a Movilidad

Dan Oshea (2004:8)

**4.5.2. Aplicaciones y arquitectura.** Una red inalámbrica metropolitana basada en la interfaz de aire de WiMax está distribuida de manera muy similar al de una red celular tradicional, con estaciones base posicionadas estratégicamente utilizando el esquema punto-multipunto para poder proveer el servicio a varios kilómetros a la redonda dependiendo de la frecuencia utilizada, la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor. En áreas en donde se presenta un alto índice de utilización del servicio, el sistema estará limitado más por su capacidad que por el alcance de las antenas. Las estaciones base están típicamente conectadas en configuración estrella al corazón de la red por medio de enlaces de fibra óptica o enlaces microonda. El gran alcance y la característica de no necesitar línea de vista para establecer conexión entre las antenas de la estación base y las terminales hacen que el sistema sea atractivo tanto a usuarios como a proveedores.

Tres bandas de frecuencia son las más usadas en la actualidad:

- La banda de 5.8 GHz
- La banda de 2.5 GHz
- La banda de 3.5 GHz

**4.5.3. Interfaz radial WiMax.** Las versiones iniciales de WIMAX definieron portadoras de 20 MHz de ancho de banda para el acceso radial de los usuarios. Dado que la movilidad sobre portadoras de un ancho de banda tan grande se hace difícil, en los últimos estándares definidos por el IEEE, incluyendo el 802.16e, definen portadoras desde 1.5 MHz hasta 20 MHz. Esto permite a los operadores no sólo prestar servicio de movilidad a los suscriptores, sino mayor flexibilidad al momento de dimensionar la red. Por ejemplo, un operador al inicio puede ofrecer el servicio de WIMAX en un área geográfica limitada en donde la demanda no será tan alta. Siendo este el caso, no se necesita de una portadora con un gran ancho de banda para poder ofrecer el servicio.

El acceso radial se realiza por medio de una multiplexación conocida como Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia, la cual es una técnica de transmisión de señales que recientemente ha sido reconocida como uno de los mejores métodos para comunicaciones bidireccionales inalámbricas. OFDM agrupa efectivamente múltiples señales moduladas en forma ortogonal, reduciendo así el ancho de banda requerido pues no existen bandas de guarda entre las señales, las cuales están tan juntas unas de otras que llegan a superponerse entre sí. Este mismo tipo de multiplexación se utiliza también en sistemas como WiFi y ADSL.

OFDM se basa en la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM), la cual suma señales de distintas frecuencias para transmitir varias señales en paralelo. El receptor filtra la señal transmitida de modo que éste pueda recibir la señal deseada según la frecuencia original. Como se puede deducir OFDM es muy similar a FDM, sin embargo tiene la característica que espectralmente es mucho más eficiente al agrupar las señales a transmitir mucho más cerca una de otra. Esto se logra hallando frecuencias que son ortogonales, es decir matemáticamente perpendiculares, permitiendo que el espectro de cada una de las señales no interfieran entre sí. Prácticamente las bandas de guarda son eliminadas.

**4.5.3.1. Modulación.** Los tipos de modulación empleados por WIMAX son 64-QAM, 16-QAM, QPSK y BPSK. Dependiendo de la potencia de la señal y la interferencia presente en el ambiente, el sistema elegirá la modulación más conveniente. Por ejemplo, dado que la distancia entre símbolos usando la modulación 64-QAM es menor que en BPSK, en condiciones radiales pobres el sistema utilizará BPSK, porque para el receptor será más fácil demodular efectivamente la señal.

**4.5.3.2. Control de potencia.** Se utilizan mecanismos de control de potencia para mantener un funcionamiento óptimo del sistema en general. Este control de potencia se realiza en la estación base, en donde además de controlar la potencia se regula la interferencia que pueda existir entre celdas.

**4.5.4. Movilidad.** El manejo de movilidad es una de las principales características en el estándar 802.16e. El tipo de handover que se maneja es inter-sector para AP's multisectores. El objetivo del trabajo que se hace sobre el estándar WiMax es poder ofrecer características de movilidad similares a las que se obtienen sobre aquellas plataformas de datos sobre sistemas celulares, tales como soft handover, traspaso rápido entre estaciones base sin pérdida de paquetes y latencia baja en handovers. Esto es necesario si se desea implementar servicios tales como VoIP móvil en la red WiMax.

**4.5.5. Interoperabilidad con Redes Públicas WIFI Y Redes 3G.** En cuanto a movilidad e interoperabilidad respecta, las redes WiMax están diseñadas para poder trabajar con otras redes públicas. Aunque actualmente todavía no se tienen lineamientos de interoperabilidad con otras redes en el estándar, Intel propone los siguientes lineamientos:

- Tanto WiMax como las redes con las cuales se desea comunicar deben manejar procesos de encriptación y autenticación bilateral.
- Aprovisionamiento para servicios de datos avanzados debe ser compatible entre WiMax y las redes con las cuales se realizará la comunicación.

- Debe existir compatibilidad de atributos tales como Calidad de Servicio (QoS), tarificación y ancho de banda provisionado.

Finalmente se puede decir que el estándar IEEE 802.16 es tan sólo el principio del futuro de las redes inalámbricas. La capacidad de soportar servicios que requieren de un gran ancho de banda, de manera inalámbrica y de forma móvil expandiendo los límites de alcance como ninguna otra red, hacen de WiMax una opción atractiva tanto al operador como al usuario final. Tal y como se mencionó previamente, aún cuando WiMax es una realidad, todavía tiene un largo camino a recorrer en cuanto a madurez. Es una tecnología a la cual se le tienen grandes expectativas y el hecho que sea un estándar abierto hace que sea mucho más fácil desarrollar sobre este sistema.

## 5. ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO

Después de dar una presentación general de las cinco tecnologías de datos sobre sistemas celulares más importantes, se procederá a procesar toda la información presentada de modo que sea obtenido un resumen analítico y objetivo en donde pueda ser visto de una manera clara las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas estudiados. Aspectos tales como throughput, capacidad y espectro utilizado estarán dentro de las variables a analizar.

### 5.1. Throughput

La capacidad en tasa de transmisión varía de tecnología en tecnología. Generalmente se utiliza esta variable para medir la capacidad de determinado canal o enlace de comunicación y es medido en volumen por unidad de tiempo.

Es importante mencionar que aún cuando cierto sistema sea capaz de proveer altas tasas de transferencia de datos, es necesario analizar si esto lo logra de manera estable o si solamente lo logra en condiciones ideales y por ráfagas. Un aspecto que es necesario aclarar es que la interfaz de aire es la principal responsable para precisar el throughput de determinado sistema. A continuación es presentada una tabla con los throughputs de las tecnologías analizadas:

**Tabla 5. Throughput de Sistemas Móviles de Datos**

	Sistema	Throughput Máximo Teórico	Throughput Máximo Real	Throughput Promedio
1	GRPS	160 kpbs	115 kbps	8 kbps – 30 kbps
2	EDGE	473 kbps	384 kbps	8.8 kbps – 160 kbps
3	1XRTT	144 kbps	144 kbps	60 kbps – 144 kbps
4	1XEVD0	2.45 kbps	2.45 kbps	600 kbps
5	WIMAX	75 Mbps	15 Mbps en 802.16e	500 kbps – 2 Mbps

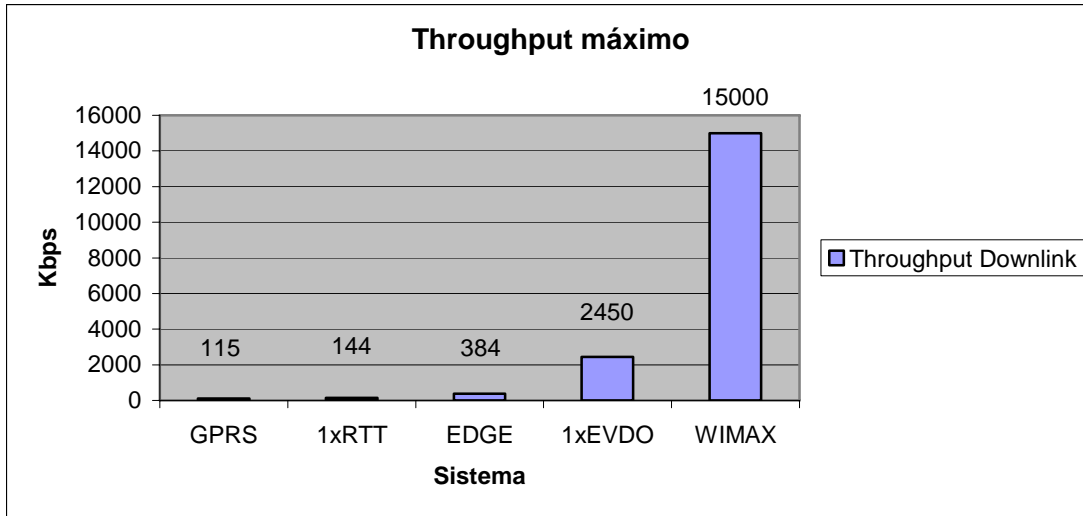
Regis Bates (2002:125), Ericsson (2003:9), Samuel Yang (2004:14) y Dan Oshea (2004:8)

Cabe aclarar que estas tasas de transferencia de datos están sujetas a varios factores distintos en cada tecnología. Aún cuando el máximo throughput teórico en GPRS es 160 kbps, esto solamente se logra si 8 time slots dedicados a datos están siendo utilizados por un solo suscriptor. Se asume que se está operando en altos niveles de C/I y por lo tanto es posible utilizar el Coding Scheme 4. Además, se asume que hay suficiente capacidad de transporte en el tramo de comunicación entre la BTS y el SGSN. Como fue mencionado anteriormente, el llegar a 160kbps es un valor teórico. En la actualidad no existen terminales que puedan usar más de 4 time slots para GPRS y las condiciones de radio rara vez serán perfectas. Lo mismo ocurre con EDGE, sistema que sigue el mismo principio de GPRS. Aunque de manera general es posible aseverar que EDGE ofrece el triple de throughput a lo ofrecido por GPRS, esto dependerá de los factores antes mencionados. Otra variable a tomar en cuenta es que conforme más usuarios estén utilizando los recursos de la misma celda, los recursos se distribuirán entre los suscriptores, de manera que la capacidad de transferencia de datos se comparte.

1xRTT y 1xEVDO también presentan sus limitantes en cuanto a recursos, limitantes que impactan directamente en el throughput visto por los usuarios. En el caso de EVDO, sólo existe un canal físico en el downlink para las terminales. En éste se multiplexan en tiempo los distintos usuarios. Es por esto que a medida que más suscriptores utilicen los recursos de la celda, menos será la tasa de transferencia de datos que puedan obtener.

Finalmente cabe analizar el caso de WIMAX de una manera especial. Y es que aunque se tiene registrado en pruebas experimentales un throughput de hasta 75 Mbps, en redes implementadas se ha llegado a obtener entre 500 kbps y 2 Mbps. Esto dependerá de la versión del estándar implementado y del ancho de banda con el que se cuenta.

**Figura 11. Throughput máximo de Sistemas Móviles de Datos**



Es necesario también aclarar que los valores de Throughput máximo son tasas de transmisión de datos en downlink que se logran solamente cuando un único usuario está utilizando todos los recursos de la red de acceso.

## 5.2. Espectro

Los requerimientos de espectro radioeléctrico varían de tecnología en tecnología. Dado que este es un recurso limitado, se considera a esta variable como un factor importante a tomar en consideración al momento de la elección de determinado sistema inalámbrico de datos para su implementación.

Dependiendo también del sistema a implementar, éste puede trabajar en distintas bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.

La tabla que se presenta a continuación muestra los distintos requerimientos de espectro de las tecnologías analizadas:

**Tabla 6. Espectro requerido en Sistemas Móviles de Datos**

Sistema	Bandas de Operación	Espectro por usuario	Espectro Total Mínimo
GRPS	850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	200 KHz	200 KHz
EDGE	850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	200 KHz	200 KHz
1XRTT	450 MHz, 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2 GHz	1.25 MHz	1.25 MHz
1XEVD0	450 MHz, 700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2 GHz	1.25 MHz	1.25 MHz
WIMAX	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz	11 KHz	1.25 MHz – 20 MHz

Regis Bates (2002:38), Lawrence Harte (2004:3)

De esta tabla hay que analizar ciertos aspectos que deben ser estudiados con más profundidad. Si bien la columna de ancho de banda por usuario muestra, como su nombre lo dice, el ancho de banda en frecuencia asignado para cada terminal, esto no da parámetros para definir si un sistema emplea menos espectro que otro. Esto debido a que dependiendo del tipo de acceso usado por cada tecnología (FDMA, TDMA, CDMA, OFDM), el ancho de banda usado por usuario varía. Por ejemplo, en el caso de GPRS y EDGE el ancho de banda requerido por usuario es menor al resto de sistemas debido a que el acceso manejado en GSM (tecnología que provee el acceso de radio para GPRS y EDGE) es una combinación de FDMA con TDMA. Es decir, divide el ancho de banda total del sistema en canales de 200 kHz. Por el contrario, 1xRTT y 1xEVDO necesitan de un ancho de banda mayor por usuario debido que el acceso por suscriptor utiliza todo el

ancho de banda de una portadora, 1.25 MHz. En otras palabras, todos los abonados de una red CDMA pueden utilizar la misma portadora.

Como resultado, se puede pensar que aunque los sistemas basados en CDMA permiten una mayor cantidad de abonados en su espacio espectral, a medida que se incrementa la cantidad de usuarios éstos serán más susceptibles a interferencias por el mismo hecho que comparten la misma frecuencia. Por otro lado, si las tecnologías basadas en GSM no tienen desarrollado un eficiente plan de frecuencias, interferencias pueden ocurrir y la calidad del servicio se verá afectado.

Como resumen es posible concluir que los sistemas basados en modulaciones CDMA son espectralmente los más eficientes. Es decir, dado a la naturaleza de sistemas como GPRS y EDGE, si se cuenta con una limitación de canales o portadoras, no se podrá obtener más de cierta cantidad de celdas y usuarios utilizando recursos. Mientras que con 1xRTT y 1xEVDO se posee una limitante menos estricta, ya que aunque una gran cantidad de usuarios pueden compartir 1.25 MHz, a medida que más usuarios utilicen los recursos, la interferencia se incrementará y la calidad percibida decaerá.

Debido a las distintas versiones de los estándares de WIMAX, los requerimientos de espectro varían grandemente. Es posible poseer portadoras que van desde 1.25 MHz hasta 20 MHz. Dado que este sistema está basado en un tipo de multiplexación similar a FDMA, existe un límite físico para la cantidad de usuarios utilizando los servicios. Resulta importante poseer un plan de frecuencias robusto y estructurado.

### **5.3. Movilidad**

En teoría, todas las tecnologías analizadas en este estudio permiten al usuario movilizarse geográficamente sin perder una sesión de datos. Sin embargo, realmente

depende de varios factores la calidad del servicio con que el usuario percibirá la característica de movilidad.

En el caso de GPRS y EDGE, el suscriptor puede observar movilidad transparente siempre y cuando se traslade bajo el área de cobertura de una misma celda. Al momento de cruzar el límite de una celda, dado las características del acceso de radio de las redes GSM, la terminal del usuario necesitará cambiar de canal de comunicación, por lo que tendrá que hacer un traspaso de frecuencia que puede tomar varios segundos en realizarse. Aquí dependiendo de los diversos parámetros programados en la red y principalmente a los distintos saltos de reelección que hará el móvil antes de elegir una nueva celda, una transferencia de datos puede ser perdida parcial o totalmente.

Por otro lado, 1xRTT también ofrece la facilidad de movilidad al suscriptor bajo otras condiciones técnicas. Dado que el sistema dispone de una misma portadora para todos los usuarios, el traspaso entre las distintas celdas del sistemas se hace de manera mucho más suave y transparente que para las tecnologías basadas en GSM. Caso contrario a lo que ocurre con EVDO, que aunque también provee movilidad a los usuarios, debido a que en el downlink el acceso se hace por TDM el handoff toma más tiempo.

Finalmente WIMAX es el sistema que mejor maneja la característica de movilidad según lo descrito en la última versión de su estándar, 802.16e. Traspasos suaves y conmutaciones rápidas entre Estaciones Base se definen en el estándar como los principales puntos que atacan la movilidad. Son tomadas en cuenta situaciones de 0 pérdida de paquetes, útiles para servicios de tiempo real como VoIP. Lamentablemente hasta la fecha todavía no hay redes comerciales que implementen el 802.16e, el estándar terminó de definirse en el 2005. Habrá que esperar para determinar la efectividad de la movilidad proveída por WIMAX.

## 5.4. Servicios

Los servicios que son capaces de operar sobre cierta red móvil de datos varían de tecnología en tecnología. Esto debido a que los mismos están muy ligados al throughput que cierto sistema puede proveer; es decir, dependiendo de la naturaleza del servicio, se requerirá de un mayor o menor ancho de banda para poder operar cierta aplicación con un grado de servicio aceptable.

La intención de esta sección es estudiar algunos de los servicios más comunes que trabajan sobre las redes de datos móviles y evaluar sus requerimientos en cuanto a la tasa de transmisión necesaria. Para los operadores es muy importante evaluar qué servicios se pueden proveer sobre determinada tecnología pues esto determinará en gran manera la elección que el operador haga al momento de adquirir e implementar una red móvil de datos.

**5.4.1. WAP.** El Protocolo de Aplicación Inalámbrica (WAP) es un estándar abierto internacional definido por la OMA destinado para aplicaciones que utilicen comunicaciones inalámbricas. Específicamente su aplicación principal consiste en permitir a un usuario el acceso a internet desde un teléfono celular. De esto se desprenden también todos los servicios adicionales que se pueden proveer sobre internet, tal es el caso de banca en línea, pago de servicios en línea, acceso a bolsas de valores, etc.

Debido a que el ambiente desde el cual el suscriptor accesa a internet es diferente al de una computadora común, la terminal móvil necesita de un explorador especial para proveer de los servicios básicos que un explorador de internet de PC ofrece. En otras palabras, el explorador WAP simplifica las operaciones de acceso a internet dentro de los límites y restricciones del teléfono celular. Dado esta misma limitante, los sitios a los que puede acceder una terminal WAP deben estar escritos en un lenguaje especial llamado WML.

En cuanto a throughput necesario se puede decir que velocidades en un rango entre 8 kbps y 30 kbps ya son aceptables dado que las páginas escritas en WML diseñadas para WAP son de tamaño reducido. Por ejemplo, en sus inicios la mayoría de sitios WAP eran de 1 kb en tamaño.

En conclusión se podría decir que el servicio WAP puede ofrecerse de una manera aceptable en todas las tecnologías móviles de datos estudiadas.

**5.4.2. MMS.** El Servicio de Mensajería Multimedia, MMS por sus siglas en inglés, está orientado tal y como su nombre lo indica a proveer mensajería multimedia que incluye texto, imágenes, videos y sonidos a sus suscriptores. Este servicio trabaja en un sistema de envío que no es en tiempo real y es comparable a la mayoría de sistemas de mensajería actuales.

MMS surge de una combinación entre los beneficios de WAP y SMS. Incluso se puede decir que MMS es una evolución de WAP ya que necesita de WAP para su funcionamiento.

Dado que el servicio ofrecido por WAP no es en tiempo real e incluso la variable de “tiempo” es menos relevante que en WAP, es posible ofrecer MMS en cualquiera de las plataformas de datos estudiadas: GPRS, EDGE, 1xRTT, 1xEVDO, WIMAX.

**5.4.3. PoC.** El servicio de Push to Talk over Cellular es un sistema sobre el cual un usuario puede comunicarse con otros al presionar un botón ubicado en su aparato celular. Dada la naturaleza del sistema, half duplex, solamente un interlocutor puede hablar a la vez. Este servicio se presta sobre las plataformas de datos de redes celulares y tiene la característica de trabajar en tiempo real, lo que conlleva que la red sobre la cual opera debe estar en condiciones óptimas pues cualquier error en la transmisión de algún

paquete resulta en pérdida parcial del mensaje pues éste no puede ni debe ser retransmitido.

Según estudios realizados por una de las empresas líderes en el desarrollo e investigación de sistemas PoC, el throughput mínimo necesario por usuario para utilizar el servicio es de 10 kbps. Se puede establecer entonces que aunque los requerimientos en cuanto a velocidad y calidad de red son ligeramente superiores a los servicios explicados con anterioridad, PoC puede ser ofrecido en GPRS, EDGE, 1Xrtt, 1xEVDO y WIMAX.

**5.4.4. Internet.** Cada vez son más los usuarios de internet. Solamente en la presente década, según datos de la ITU actualizados el 18 de septiembre de 2006 la utilización de internet se ha incrementado en un 200.9 % a nivel mundial, con una penetración de más de un mil millones de usuarios. Accesos a internet de banda ancha son cada vez más comunes y velocidades de 256 kbps, 512 kbps y 1 Mbps se pueden encontrar a precios relativamente bajos en países del tercer mundo. De ahí que las necesidades de los usuarios se vuelvan cada vez más exigentes. La búsqueda de información en sitios y descarga de correos poco a poco está dejando de ser el uso primordial del internet y la transmisión de pesados archivos multimedia se está volviendo más común.

Dados los nuevos estándares que se están estableciendo, la aceptación del internet móvil y la utilización de servicios sobre internet que requieren de un ancho de banda considerable, los servicios sobre redes públicas a través de redes celulares tienen que cumplir con las crecientes demandas de los clientes. Accesos mínimos de 50 kbps sólo satisfacen al usuario más complaciente por lo que ofrecer este servicio sobre GPRS no sería lo indicado. EDGE, 1xRTT y 1xEVDO pueden ser consideradas como las tecnologías más apropiadas para proveer el servicio en cuestión.

**5.4.5. Video Streaming.** Video Streaming es una aplicación multimedia sobre redes IP que consiste en la transmisión de video digital en condiciones de tiempo

real. Generalmente este servicio se provee de forma punto-multipunto. Dentro de sus características principales están que la totalidad del video a transmitir se divide en paquetes y que el video puede reproducirse mientras está siendo descargado.

Dependiendo de la calidad del video, éste requerirá de un mayor o menor ancho de banda para su transmisión conservando niveles aceptables de calidad. Al igual que con PoC, uno de los principales problemas que enfrenta este servicio es el de pérdida de paquetes. Al perderse uno o varios paquetes de la secuencia del video transmitido, éste se interrumpe o entrecorta, perdiéndose así parte del mensaje. El retardo es otro factor a tomar en cuenta en Video Streaming ya que en dado caso se presente un espaciamiento considerable entre una y otra ráfaga de paquetes, el video se entrecortará y el usuario percibirá una pobre calidad de servicio. Es necesario destacar entonces que la red de transporte necesita estar en óptimas condiciones.

En Video Streaming la interoperabilidad entre los distintos componentes del servicio es muy importante. Tanto servidores, codificadores como reproductores deben entenderse y manejar los mismos formatos de archivos y protocolos.

Operador y proveedor tienen que tener una visión realista de su red de datos antes de decidirse a lanzar el servicio. Se ha establecido que el throughput mínimo constante necesario para Video Streaming es de 20 kbps. Esto es solamente aceptable cuando el video a reproducir es de poco movimiento y se utilizan codificadores que finalmente distorsionan bastante la imagen. Esto descarta completamente la posibilidad de usar GPRS para proveer este servicio pues en condiciones reales un usuario puede esperar tasas de transmisión variables de 8 kbps – 30 kbps, dependiendo de condiciones ambientales de radiofrecuencia y del compartimiento de los recursos con otros usuarios. EDGE por su parte ha demostrado mantener velocidades promedio de 50 kbps en pruebas de Video Streaming por lo que hacen esta red apropiada para la aplicación. 1xRTT, 1xEVDO y WIMAX siendo de características similares o superiores a EDGE también son aceptadas para funcionar como red de transporte del servicio.

## 5.5. Seguridad de Acceso

La seguridad en los distintos sistemas de comunicación es algo que ha recibido mucha atención en los últimos años. Los ataques dejaron de ser exclusivos hacia computadoras pertenecientes a alguna red fija y en la actualidad las redes celulares también son objeto de ataques dirigidos principalmente a invadir la privacidad de una llamada telefónica o sesión de datos. El hecho que las redes celulares de 2da. y 3era. generación incluyan una red de datos dentro de su arquitectura, capaces de conectarse a internet, hacen que las redes y sus usuarios sean aún más propensos a violaciones de seguridad.

Este es un tema importante a tomar en cuenta tanto para el operador como para el suscriptor. Para el operador en el sentido en que una intrusión en su red le puede ocasionar daños a su equipo y para el cliente en el sentido que por razones obvias no querrá que algún desconocido tenga acceso a sus comunicaciones.

A continuación se analizarán algunos de aspectos concernientes a la seguridad de los sistemas estudiados, principalmente referentes a lo que es la vulnerabilidad de la interfaz de radio ya que básicamente éste es el punto en el que difieren.

**5.5.1. GPRS / EDGE.** Tal y como fue descrito anteriormente, las redes GPRS y EDGE utilizan una modulación GMSK en el acceso de radio. Dado que los mecanismos de transmisión y recepción se encuentran extensamente documentados y son de dominio público, la posible interceptación de una comunicación se puede realizar de manera directa usando dispositivos disponibles comercialmente y no presenta un alto grado de dificultad. Incluso los algoritmos de modulación y codificación de canal pueden hallarse en algunos libros y artículos.

**5.5.2. CDMA 2000 1xRTT / CDMA 2000 1xEVDO.** Los sistemas basados en la tecnología CDMA usan una técnica de modulación basada en

códigos. Es importante mencionar en este punto que la complejidad de demodulación y extracción del mensaje es mayor que en aquellas redes basadas en el sistema GSM, sin embargo, esta no es una tarea imposible. Cabe resaltar la importancia de los códigos PN y de Walsh para codificar el mensaje, pero si un algoritmo utilizando el principio de “fuerza bruta” logra descifrar el código, empleando documentación pública disponible se puede demodular y extraer el flujo de bits de la comunicación.

**5.5.3. WIMAX.** El estándar IEEE 802.16 en base al cual se define la tecnología WIMAX proporciona mecanismos de seguridad mediante procesos de autenticación, cifrado y encriptación. Cualquier transmisión en una red WIMAX está codificada por medio de un algoritmo de encriptación de 168 bits, la misma encriptación usada en la mayoría de VPN's. Existen planes de incluir en futuras versiones del estándar encriptación avanzada del tipo AES aunque todavía no hay nada definido. Como resultado, WIMAX es una red más segura que su predecesor, WIFI, aunque el hecho que la modulación de las comunicaciones se realicen por una técnica basada en la multiplexación por frecuencia hace algo vulnerable el sistema.

## **6. EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS MÓVILES DE DATOS A NIVEL MUNDIAL**

La constante evolución de los sistemas de conmutación de paquetes sobre redes celulares ha hecho que, tanto clientes como operadores, diversifiquen la utilidad de un teléfono y exploren nuevos servicios de valor agregado. Actualmente una tecnología celular se clasifica principalmente por las características de su red de datos y no tanto por los beneficios de su red de voz. Y es que poco a poco el acceso a servicios de datos está dejando de ser una utilidad de valor agregado y cada vez más se está volviendo un estándar. Esto le permite a los operadores hallar nuevas oportunidades en los sistemas celulares y el cliente encontrará nuevas aplicaciones que puedan ser de su utilidad. El internet móvil es el servicio más explotado sobre las redes de datos y el que más proyección hacia el futuro tiene.

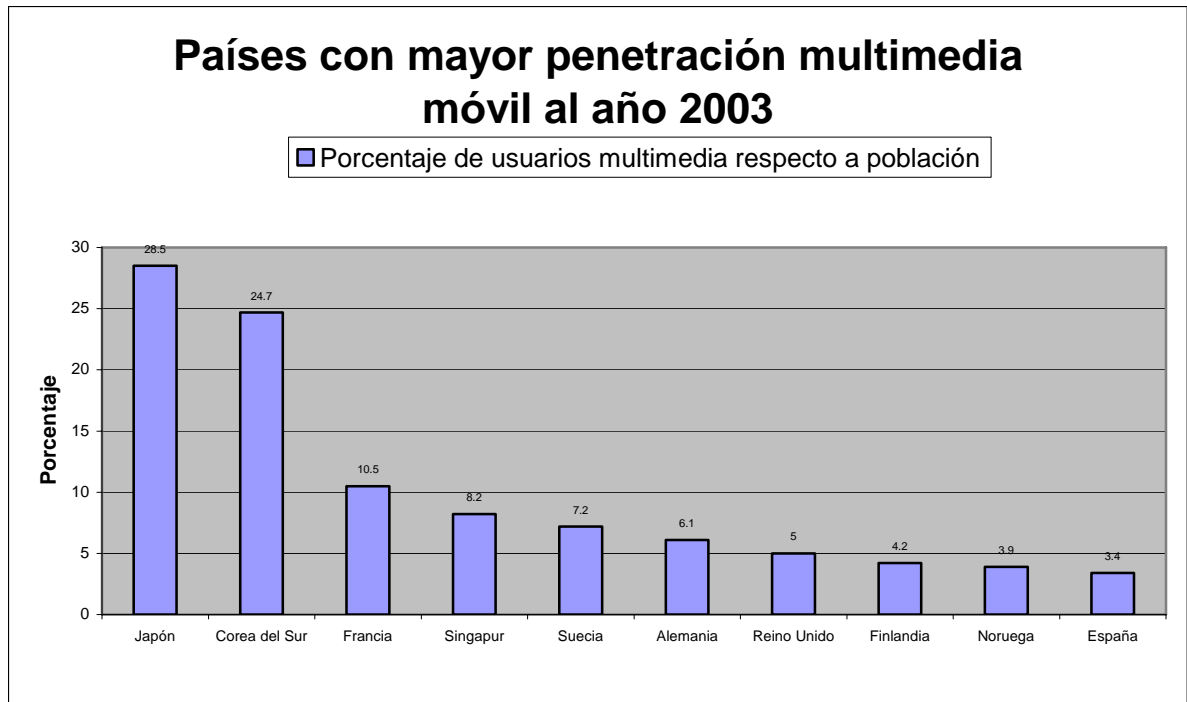
Dado lo mencionado anteriormente, este capítulo pretende mostrar estadísticamente el grado de madurez que países a nivel mundial han alcanzado con respecto a las tecnología móviles de datos y la aceptación que han tenido éstas con los usuarios. Esto con el fin de descubrir cómo se compara Guatemala en este tema con respecto a otros países.

### **6.1. Indicador usuario multimedia**

Uno de los principales indicadores para medir el grado de utilización de los servicios proveídos por las tecnologías móviles de datos es el de usuario multimedia. La institución reguladora de las telecomunicaciones en Francia define este indicador como aquél usuario que ha utilizado un servicio multimedia como WAP, Internet, PoC, MMS (SMS no se incluye) o e-mail al menos una vez durante el último mes, sin importar la red de soporte del servicio (GPRS, EVDO, EDGE, etc.).

Tal y como se mencionó en el párrafo anterior, el indicador usuario multimedia es muy útil al momento de estudiar redes de datos, pues puede dar una idea del nivel de penetración y de aceptación de servicios multimedia entre los usuarios de telefonía móvil.

**Figura 12. Países con mayor penetración multimedia móvil al año 2003**



**Telecommunications Management Group (2004:1)**

Como es posible apreciar en la gráfica, solamente países de 2 de los 5 continentes del mundo (Asia y Europa) están dentro de la lista de los 10 mercados con mayor penetración de servicios multimedia sobre redes celulares. De estos datos se puede deducir que en los países americanos todavía no hay un grado de madurez aceptable en cuanto a la utilización de servicios de datos móviles. Esto puede ser ocasionado por varios factores. Ya sea que los operadores en América todavía no han masificado el acceso a redes de datos para sus usuarios o que al momento no existan o se hayan creado las necesidades para el uso de los servicios multimedia. Sean éstas u otras las razones, los resultados presentados en la gráfica son claros. Al momento no existe en nuestros países una cultura de utilización de servicios multimedia móviles.

## 6.2. Suecia

Suecia es el país que en el 2003 presentaba el segundo lugar en usuarios de servicios multimedia sobre sistemas celulares en Europa. A continuación se presentará un cuadro con la descripción de la tendencia de crecimiento de usuarios multimedia, suscripciones de telefonía celular y población.

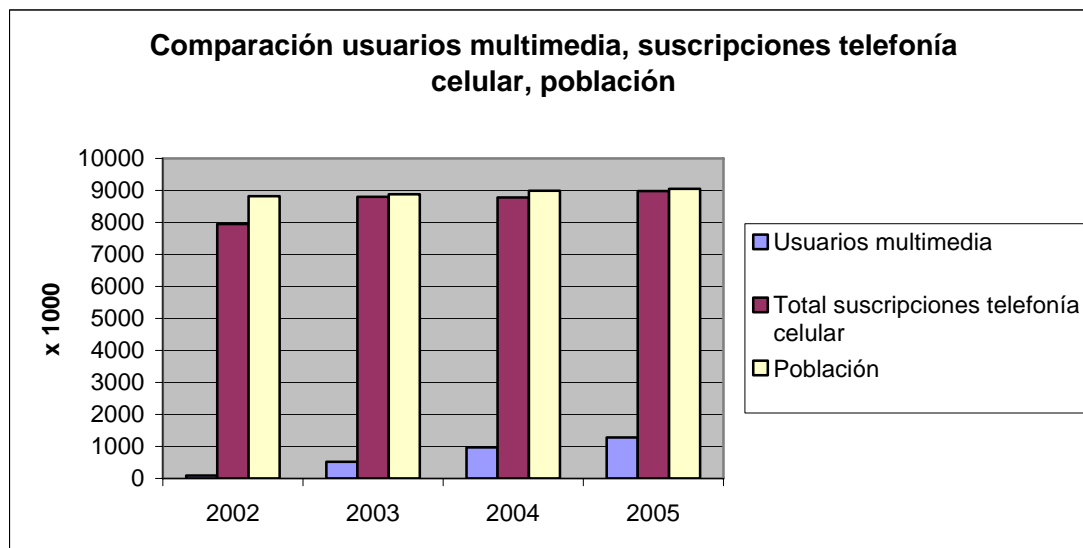
**Tabla 7. Crecimiento usuarios multimedia en Suecia**

<b>SUECIA</b>	<b>Usuarios multimedia</b>	<b>Suscripciones telefonía celular</b>	<b>Población</b>
<b>2002</b>	91000	7949000	8823000
<b>2003</b>	516000	8801000	8876000
<b>2004</b>	973000	8784000	8986400
<b>2005</b>	1278000	8981000	9047752

Stefan Williamson (2003:42), Stefan Williamson (2004:37), Stefan Williamson (2005:40).

Analizando la tabla, inicialmente llama la atención la gran cantidad de suscripciones en telefonía celular. Es decir, existe casi la misma cantidad de números celulares provisionados que habitantes. Esto muestra un gran desarrollo y masificación de la comunicación celular en Suecia. Ahora, pasando a lo que es la utilización de servicios de datos móviles, se puede ver que desde el año 2002 se ha incrementado la cantidad de usuarios multimedia en un 1304 %. Esto es un incremento mucho más acelerado con respecto a lo mostrado por la cantidad de habitantes en el país y al número de suscriptores de telefonía celular. En otras palabras, cada vez el porcentaje de penetración de los servicios móviles de datos se hace más grande año con año. Hasta el año 2005, éste índice está en 14.12 %.

**Figura 13. Usuarios multimedia, suscripciones telefonía celular y población en Suecia**



Stefan Williamson (2003:42), Stefan Williamson (2004:37), Stefan Williamson (2005:40).

La gráfica muestra de una manera más clara lo expuesto anteriormente. Cabe destacar que aunque el número de suscripciones de telefonía celular es muy similar al total de habitantes, esto no implica directamente que cada suscripción corresponde a una persona. Es por esto que es importante hacer la aclaración que el indicador “Total Suscripciones Telefonía Celular” abarca a todos aquellos números de telefonía celular provisionados y activos en las bases de datos de los operadores. Es decir, una persona puede tener varias terminales activas, las cuales se contabilizan dentro del indicador antes mencionado.

Habiendo analizado el desarrollo de los servicios móviles de datos en un país europeo, se procederá a estudiar el grado de madurez y penetración de los servicios antes mencionados en un estado asiático.

### 6.3. Hong Kong

Hong Kong fue proyectado en el año 2002 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como el país que más pronto se beneficiaría de los servicios

proveídos por tecnologías de tercera generación. Aún cuando naciones como Japón y Corea del Sur actualmente aventajan a Hong Kong en cuanto a niveles de penetración de servicios multimedia móviles, la aceptación que han tenido estos servicios en la ex-colonia británica durante los últimos 4 años ha sido sorprendente.

Resulta interesante estudiar un estado como Hong Kong por todas las implicaciones políticas, sociales y económicas que trae consigo dada su peculiar naturaleza. Y es que aunque esta pequeña isla actualmente pertenece a China, mantiene cierto grado de autonomía que la diferencia del resto del país asiático. La política “Un mismo país dos sistemas” permite que Hong Kong conserve su propio sistema legal, leyes de inmigración y más importante, su propio sistema económico.

Para el año 2002, China como país poseía un nivel de penetración de telefonía celular del 16 %. Solamente en Hong Kong, para el mismo año, este porcentaje ascendía al 91.63 %. Actualmente el número de abonados activos en telefonía celular ya sobrepasan la cantidad de habitantes.

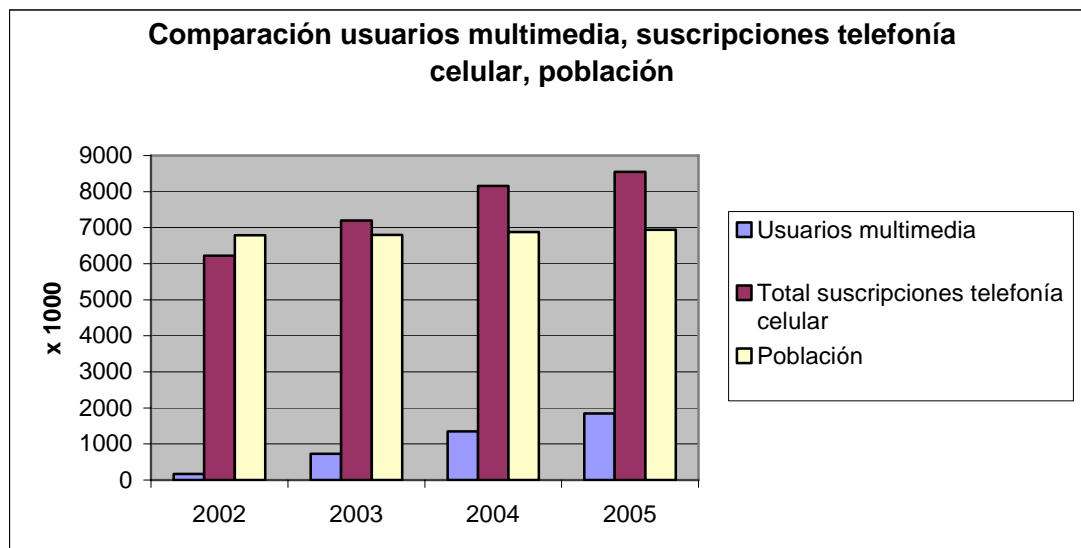
**Tabla 8. Crecimiento usuarios multimedia en Hong Kong**

<b>HONG KONG</b>	<b>Usuarios multimedia</b>	<b>Suscriptores telefonía celular</b>	<b>Población</b>
<b>2002</b>	170931	6218984	6787000
<b>2003</b>	729554	7194335	6803100
<b>2004</b>	1349015	8157960	6882600
<b>2005</b>	1848254	8544255	6943600

Office of the Telecommunications Authority (2006:1)

Como es posible ver en la tabla, la tasa de crecimiento en cuanto a usuarios multimedia sobre redes celulares observa un comportamiento similar a lo presentado por Suecia. Desde el año 2002 hasta el 2005 se incrementó este indicador en un 981.28 %.

**Figura 14. Usuarios multimedia, suscripciones telefonía celular y población en Hong Kong**



Office of the Telecommunications Authority (2006:1)

Comparando los datos de los países analizados hasta el momento se puede deducir que países que han madurado y saturado la penetración de telefonía celular, están optando por explotar los servicios que se pueden proveer sobre la red de datos. Es decir, dado que el crecimiento en cuanto a suscriptores de telefonía celular está llegando a su límite, los operadores están concentrando sus esfuerzos en todos aquellos servicios de valor agregado que el cliente pueda consumir. Están encontrando en sus plataformas de datos una fuente de ganancias que se incrementa a un ritmo extremadamente acelerado. El hecho que tanto en Suecia como en Hong Kong los usuarios multimedia hayan observado un crecimiento de más del 900 % es una muestra de lo anteriormente expuesto.

Claramente ha sido evidenciado el rumbo que están tomando los países con un alto grado de madurez de uso y penetración de telefonía celular. Sin embargo resulta de igual o mayor importancia entender el camino y el estatus actual de países en condiciones similares a las de Guatemala, países en los cuales aún cuando no poseen niveles de penetración como los vistos anteriormente, tienen un crecimiento de usuarios de telefonía móvil bastante acelerado, con operadoras que manejan redes celulares con tecnología 2.5 G y 3 G.

Dado que el fenómeno de acceder servicios digitales por medio de redes celulares es relativamente nuevo, todavía no existe un estándar establecido para medir la penetración y utilización de los servicios antes mencionados. Y es que aunque la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) está tratando de estandarizar los parámetros estadísticos de servicios de datos sobre redes celulares, muy pocos países están recolectando, publicando y cumpliendo con las estadísticas solicitadas por la ITU.

## 6.4. Chile

La historia de las telecomunicaciones en Chile es en cierta forma similar a lo ocurrido en Guatemala. Las primeras redes celulares analógicas se implementan a finales de la década de los 80's y a partir de una Ley General de Telecomunicaciones se libera y derregula el sector con el fin de introducir la competencia. La telefonía dejó de ser puramente estatal y poco a poco nuevas empresas fueron entrando a competir. La diferencia entre el caso de Chile y el de Guatemala es que la liberación de las telecomunicaciones se realizó 14 años antes en el país andino, uno de los primeros países en América Latina en realizar esto. Este factor sitúa a Chile como uno de los países latinoamericanos con mayor penetración de telefonía celular. Hacia el año 2001 existían 34 aparatos celulares por cada 100 personas.

Chile destaca dentro de los pocos países latinoamericanos que reporta estadísticas en cuanto al uso de servicios de datos sobre redes celulares. Y si bien no maneja el parámetro de usuario multimedia como lo recomienda la ITU ni como lo procesan Suecia y Hong Kong, sí publican un conjunto de variables que dan una idea del acceso por parte de los usuarios a redes de datos móviles.

La Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile a través de las distintas operadoras de telefonía celular, recolecta la cantidad en minutos que los usuarios han utilizado la red de datos. Es decir, si una persona accesa a internet por medio de su

teléfono celular por un lapso de 10 minutos, estos 10 minutos se verán reflejados en el reporte publicado por Subtel.

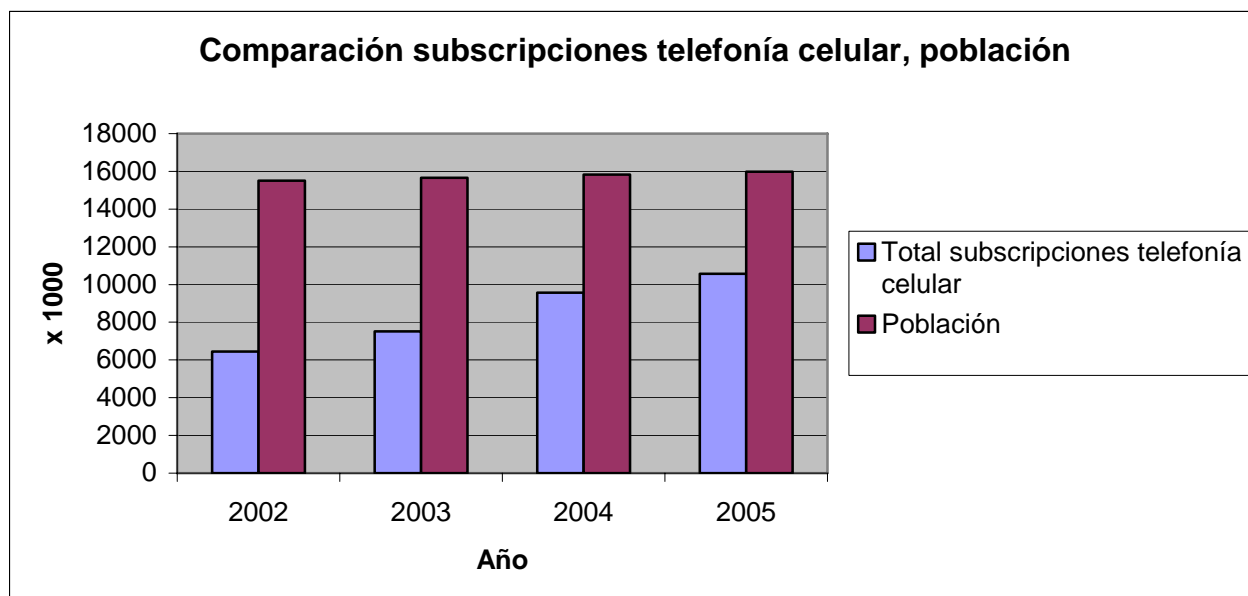
**Tabla 9. Tráfico datos, suscripciones telefonía celular y población en Chile**

Chile	Tráfico datos (minutos) x1000	Suscripciones telefonía celular	Población
2002	13.4	6445698	15498930
2003	58	7520280	15665216
2004	460	9566581	15823957
2005	340	10569572	15980912

Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2003:90), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2004:31), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2005:16), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2006:16).

Del cuadro destaca el ritmo de crecimiento de suscriptores de telefonía celular. Para el año 2005 Chile poseía una penetración de telefonía celular de aproximadamente el 66 % de la población. Un incremento del 59 % a lo que se tenía en el año 2002.

**Figura 15. Suscripciones telefonía celular y población en Chile**

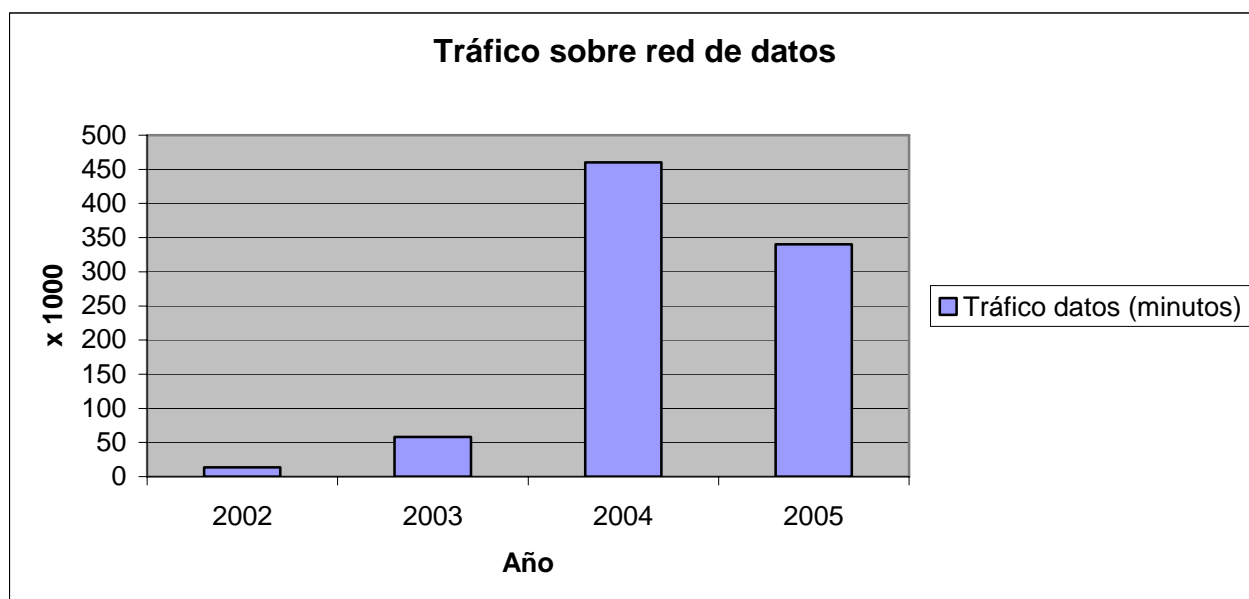


Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2003:90), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2004:31), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2005:16), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2006:16).

Tal y como fue mencionado con anterioridad, Chile es uno de los países con mayor penetración de telefonía celular. De hecho, grandes países en Latinoamérica como México y Argentina alcanzan un nivel de penetración en el año 2005 del 55.5 % y 28.5 % respectivamente. Aún cuando son porcentajes altos, se quedan por debajo a lo mostrado por Chile.

Sin embargo, incluso cuando es impresionante el crecimiento de usuarios de telefonía celular, el ritmo de crecimiento del tráfico sobre redes de datos es aún más impresionante. Solamente desde el año 2002 al 2005 se pudo observar un incremento del 2437 % del tráfico de datos.

**Figura 16. Tráfico de datos en Chile**



Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2003:90), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2004:31), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2005:16), Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (2006:16).

Es necesario resaltar que aunque el crecimiento del tráfico de datos es bastante pronunciado, su desarrollo se encuentra aún en una etapa relativamente joven. Es por esto que el incremento del 2437 % debe ser tomado de manera cautelosa, pues es obvio que esta variable no ha llegado a un grado de madurez similar al mostrado por el tráfico de voz.

## 6.5. Guatemala

El objetivo principal de analizar la aceptación y el uso de los servicios de datos móviles a nivel mundial es el de comparar y esclarecer la situación actual que presenta Guatemala en este tema, encontrar el grado de madurez y hallar la tecnología más apropiada a implementar en nuestro país.

Lamentablemente Guatemala se encuentra dando los primeros pasos en cuanto a servicios de datos sobre redes celulares respecta. Incluso la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala dentro de las estadísticas que estudia y publica no maneja ningún indicador o variable relacionado con la utilización o tráfico de datos en redes celulares.

Con estos inconvenientes presentados, se procedió a estudiar el tráfico de datos sobre una red celular de una empresa privada dedicada a proveer servicio de telefonía celular. Debido a que las estadísticas a manejar son datos internos de la empresa, simplemente nos referiremos a esta compañía como “Empresa X”.

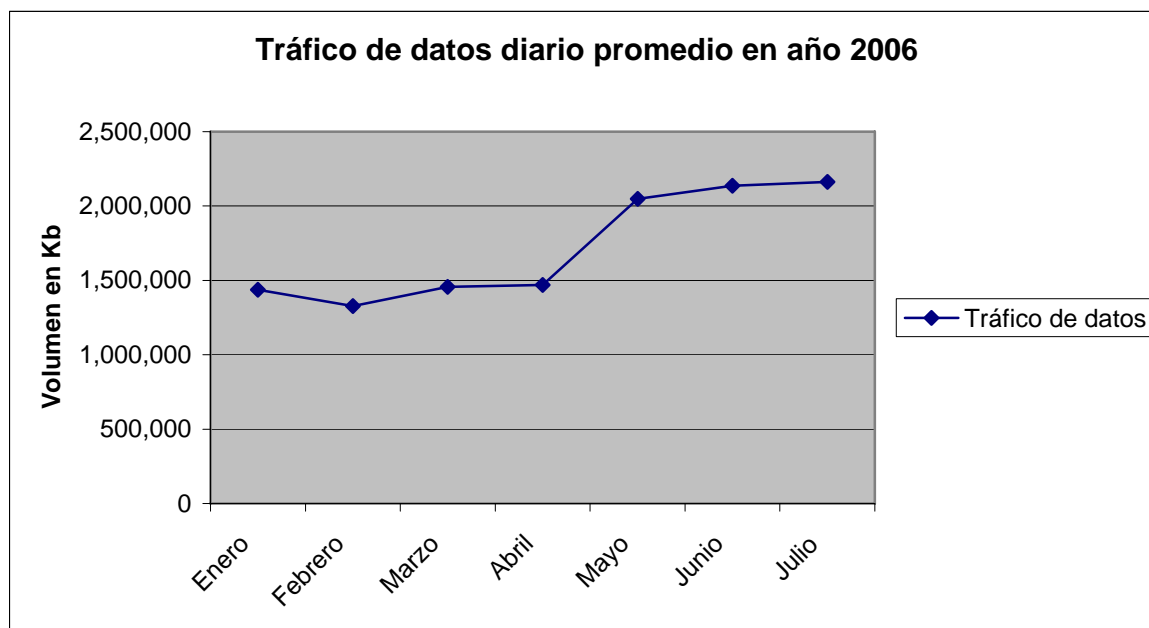
El indicador a utilizar no será el de Usuario Multimedia definido por la ITU, sin embargo, se estará analizando el tráfico en bytes a causa del uso de los servicios de datos y su comportamiento entre Enero 2006 y Julio 2006. Este indicador refleja el tráfico producido no solamente por el uso de internet, sino por todos los servicios de datos proveídos por la Empresa X.

Es claro que el parámetro a emplear en este caso no sirve para comparar la utilización de los servicios móviles de datos de Guatemala con respecto a los otros países analizados, sin embargo es posible ver la tendencia que existe en Guatemala en este aspecto. Se analizará sólo el intervalo entre enero a julio de 2006 debido a que la Empresa X liberó los datos de solamente ese lapso de tiempo.

**Tabla 10. Tráfico de datos promedio en Guatemala**

2006	Tráfico datos promedio en Kb
Enero	1436831.597
Febrero	1328461.465
Marzo	1455601.593
Abril	1469868.729
Mayo	2049114.645
Junio	2137239.913
Julio	2162744.592

En el cuadro se despliega el volumen promedio en Kilobytes del tráfico de datos diario. Es decir, los 1,436,831.59 Kb correspondientes al mes de enero representan un promedio del tráfico de datos diario cursado ese mes. En otras palabras, diariamente durante el mes de enero existió 1,436,831.59 Kb de tráfico. Este valor es resultado de la sumatoria del tráfico en el Uplink y en el Downlink.

**Figura 17. Tráfico de datos diario promedio en 2006 en Guatemala**

Tal y como se puede ver en la gráfica, el tráfico de datos sobre la red celular de la Empresa X ha mostrado un crecimiento casi constante en el intervalo de tiempo

estudiado. Solamente de enero a febrero disminuyó ligeramente el tráfico, pero nuevamente en marzo aumentó el volumen y mantuvo la misma tendencia hasta el último mes presentado.

Como conclusión se puede decir que aunque no existe un parámetro que permita comparar el nivel de madurez, desarrollo y evolución de la utilización y aceptación de las redes móviles de datos en Guatemala con respecto al resto del mundo, dados los datos que fueron presentados podemos afirmar que cada vez son más utilizados los servicios de datos móviles. En la última gráfica es claro que el comportamiento de crecimiento del tráfico de datos es casi lineal. Lamentablemente con los datos existentes no hay forma de traducir esto a un parámetro similar al de Usuario Multimedia, parámetro reconocido por la ITU para representar cantidad de usuarios que utilizan las redes móviles de datos. No obstante, quedan las bases establecidas para que en un futuro estudio sea viable realizar un análisis como el pretendido en este trabajo de graduación. La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala necesita poner más atención en este asunto pues las estadísticas que maneja están muy limitadas y en algunos casos desactualizadas. Es necesario poner énfasis en este aspecto considerando que las redes de datos y los servicios que puedan ser proveídos sobre estas redes puedan llegar a ser el futuro de las telecomunicaciones móviles.

## 7. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Los operadores de redes móviles en Latinoamérica han invertido porcentualmente mucho más en sus redes que sus contrapartes en cualquier otra parte del mundo. Según un reporte realizado para la GSM Association llamado *The Economic Impact of Mobile Services in Latin America*, en los últimos 6 años, las empresas operadores latinoamericanas invirtieron el 28 % de sus ganancias en el mejoramiento y ampliación de las redes móviles, un monto muy superior a los 13 % - 18 % invertidos por Europa y Estados Unidos.

Incluso en América Latina la inversión en redes móviles es significativamente superior a lo invertido por los operadores de redes fijas. Algo que no sucede en otras regiones donde la inversión tanto en redes móviles como fijas es aproximadamente la misma.

Aún y con todo el gasto y la inversión que se ha puesto sobre las redes celulares, el nivel de penetración de usuarios es menor al de países en condiciones económicas similares.

La tendencia en la región latinoamericana ha sido la de implementar redes GSM / GPRS / EDGE. Es más, aquellos países que operaban en redes CDMA han optado por migrar sus sistemas a la tecnología GSM. Por ejemplo Telefónica Móviles de México fue el primer operador de la región en migrar su red de CDMA a GSM. Poco tiempo después América Móvil anunció que seguiría este camino en todas sus propiedades que tuvieran redes CDMA, empezando con Guatemala y siguiendo con su subsidiaria en Argentina. Recientemente el 26 de julio de 2006 Telefónica Móviles anunció la migración de su red CDMA en Venezuela a GSM.

Todos estos cambios se deben a que los operadores se han dado cuenta que al implementar GSM, la evolución hacia GPRS, EDGE y UMTS es la más eficiente tanto en el plano técnico como en el plano económico para alcanzar a proveer servicios de tercera

generación. El evolucionar a EDGE y a UMTS no requiere de un alto CAPEX, pues básicamente sólo tienen que invertir en la red de acceso y en la ampliación del transporte.

Y es que aún cuando a principios de la década 2000 habían muchos que pensaban que la tecnología GSM estaba ya en sus últimos años de vida, incluyendo a importantes proveedores de servicio en Estados Unidos como AT&T Wíreless, Cingular Wireless, Rogers Wíreless y T-Mobile USA que llegaron a afirmar que “EDGE es una tecnología regional para el área latinoamericana, que será ignorada por operadores celulares alrededor del mundo”, hasta mayo de 2006 existían más de dos mil millones de usuarios GSM a nivel mundial, con 148 redes EDGE en servicio en 87 países. Resultan curiosos los comentarios hechos por los operadores norteamericanos con respecto a EDGE, tomando en cuenta que en la actualidad tanto T-Mobile como Cingular Wíreless y otras 12 empresas proveedoras de servicio en Estados Unidos tienen redes EDGE activas.

Es entonces lógico entender porqué las plataformas móviles de datos basadas en sistemas GSM tienen mayor aceptación a nivel mundial. El hecho que esta tecnología esté basada en un estándar abierto, la existencia de una gran variedad de terminales, cobertura por roaming alrededor del mundo y principalmente una gran selección de proveedores de infraestructura de redes, hacen que GSM sea más atractiva tanto a clientes por los beneficios que pueden obtener, como a operadores por los bajos costos de inversión, que se traducen a bajos costos de adquisición de usuarios y a su vez incrementa el crecimiento de suscriptores. Por ejemplo, según estudios hechos por AT&T Wireless, el costo de migrar un usuario de GSM/GPRS hacia EDGE es entre \$1 a \$2 por usuario. Incluso cuando la migración hacia UMTS no sea tan económica como lo es la migración de GPRS a EDGE, UMTS conserva gran parte de la infraestructura de su predecesor. Además dado que tanto EDGE como UMTS pueden compartir la misma red IP, los operadores pueden optar por lanzar UMTS según las necesidades del cliente, permitiendo así controlar de mejor manera sus costos y minimizar sus CAPEX.

Retomando uno de los puntos mencionados en el párrafo anterior, es tal la demanda por terminales GSM/GPRS/EDGE en América Latina, que los fabricantes de

terminales están estableciendo plantas de manufactura en la región, principalmente en Brasil. Es así como Motorola, Nokia, Panasonic, Sagem, Samsung, Sharp, Siemens y Sony Ericsson han optado por América como uno de los lugares principales para fabricar teléfonos celulares.

Por otro lado, los sistemas móviles de datos basados en la tecnología CDMA tienen también sus ventajas económicas. Japón, Corea del Sur y los Estados Unidos son los países que más redes de CDMA 2000 tienen implementadas y desde ya están viendo ganancias gracias a los servicios que son capaces de proveer sobre sus sistemas de tercera generación. Aproximadamente el 80 % de usuarios de redes 3G usan redes CDMA 2000. Por ejemplo en Corea del Sur, casi el 40 % del total de suscriptores de CDMA 2000 ya gozan de servicios de datos de alta velocidad al haber adquirido terminales 1xEVDO. Hasta el año 2006, existían en Estados Unidos más de 100 millones de suscriptores CDMA 2000 1xRTT y CDMA 2000 1xEVDO. Y aún cuando anteriormente fue mencionado que en dicho país se están instalando varias redes basadas en GSM, en enero de 2006 los usuarios CDMA 2000 constituían poco más del 50 % del total de suscriptores.

Es comprensible porqué naciones como Corea del Sur y Estados Unidos han optado por sistemas móviles de datos basados en el estándar CDMA 2000. El grupo Signals Research en un reciente estudio establece que si un operador implementa una red CDMA2000 y la opera en un lapso de por lo menos 10 años, su red será más *efectiva con respecto a costos* hasta en un 12 % por sobre una red GSM/GPRS/EDGE, suponiendo un incremento de usuarios moderado. Este porcentaje puede ser aún más alto si se considera que la densidad de población y el poder adquisitivo en países como Japón y Corea del Sur es más alto que en otros. Con esto no solamente se asegura la demanda en el sentido que habrá gente deseando usar los servicios de datos móviles, sino además habrán personas con la capacidad económica para contratar estos servicios.

El estudio de Signals Research también hace ver que con una red CDMA 2000 1xEVDO Rev. A un operador puede ofrecer telefonía por VoIP sobre la red de

conmutación de paquetes, incrementando así la capacidad de su red pues puede distribuir sus usuarios de voz entre la red de conmutación de circuitos y la red de datos.

Uno de los puntos que más se le ha criticado a los sistemas basados en tecnología CDMA es los altos precios que tienen sus terminales, que finalmente se traduce a altos costos tanto para el operador como para el cliente. Sin embargo, dada la masificación y utilización de CDMA 2000, actualmente los precios de los aparatos celulares de gama baja están casi al mismo nivel que los GSM. Se estima que los precios de las terminales 1xEVDO continúen bajando hasta llegar a un promedio de \$33 por terminal en el año 2009.

Así como en párrafos anteriores se mencionó que la mayoría de operadores en Latinoamérica que poseen redes CDMA están migrando a GSM, al momento de redacción de este trabajo de graduación (julio 2006) existen por lo menos 25 operadores alrededor del mundo con redes GSM que están implementando o tienen acuerdos para implementar redes CDMA 2000.

**Tabla 11. Estatus de implementación de redes CDMA en 2006.**

<b>País</b>	<b>Operador</b>	<b>Estatus</b>
Algeria	Algerie Telecom	En servicio
Algeria	Orascom	En implementación
Araba	Setar	En implementación
Araba	Digicel	En implementación
Bahamas	Bahamas Telecommunications Company	En implementación
Barbados	Digicel	En implementación
Bermuda	Digicel	En implementación
Islas Vírgenes Británicas	CCT Global Communications	En implementación
Cambodia	Cambodia Shinawatra	En servicio
Islas Caymán	Digicel	En implementación

China	China Unicom	En servicio
República Checa	Eurotel Praha	En servicio
India	Bharat Sanchar Nigam	En servicio
India	Mahangar Telephone Nigam	En servicio
India	Reliance Infocomm	En servicio
Indonesia	PT Indosat	En servicio
Jamaica	Digicel	En implementación
Laos	Lao Telecommunications	En servicio
Nepal	Nepal Telecom	En servicio
Pakistán	PTCL	En servicio
Arabia Saudita	Saudi Telecom Company	En implementación
Sri Lanka	Sri Lanka Telecom Limited	En servicio
Trinidad y Tobago	TSTT	En servicio
Uganda	MTN Uganda	En servicio
Ukrania	Ukranian Mobile Communications	En implementación

**CDMA Development Group (2006:15)**

Después de esta pequeña introducción acerca de los distintos aspectos a considerar en cuanto a costos de implementación de una red celular, se procederá a analizar más detalladamente estos aspectos.

Lamentablemente no fue posible tener acceso a costos de implementación de redes WIMAX. Y es que debido a que esta tecnología es tan nueva, comercialmente a nivel mundial son pocas las redes existentes en relación a redes GPRS/EDGE y 1xRTT/1xEVDO. Incluso muchas redes WIMAX actualmente tienen el estatus de “trial”.

Uno de los principales problemas encontrados al momento determinar los costos de implementación de una red móvil de datos fue el de hallar una relación entre los parámetros de costos de los elementos de red de modo que fuera posible hacer una relación entre estos para determinar cuál de las redes en cuestión es más económica. Fue

algo difícil llevar a cabo esta relación debido a las características técnicas de cada sistema y la forma en como cada una hace la distribución de capacidad y throughput. Por ejemplo, una tecnología X puede ser menos costosa de implementar que una tecnología Y, pero a largo plazo la tecnología Y puede ser más económica debido a que tiene mayor capacidad que la tecnología X.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, para obtener una variable que exponga de una mejor manera la relación costo-beneficio para el operador, se utilizará el indicador Dólar / Kbps. Esta relación muestra el costo que tiene para el operador proveer 1 Kbps.

Con el fin también de clarificar los resultados, se procederá a analizar el costo de implementación de una red de 10 celdas (10 sectores), considerando no solamente el equipo necesario sino también los requerimientos de transmisión. Esto con el objetivo de analizar el costo de implementación real de una red bajo las mismas condiciones sin importar la tecnología.

#### Costo de implementación de equipo

**Tabla 12. Costo de implementación GPRS**

GSM	COSTO UNITARIO	10 CELDAS	TOTAL
1 RADIO GPRS	\$5,000.00	10	\$50,000.00
BTS GSM	\$15,000.00	10	\$150,000.00
CORE RED IP GPRS / EDGE	\$2,000,000.00	1	\$2,000,000.00
E1	\$2,000.00	10	\$20,000.00
TOTAL			\$2,220,000.00

**Tabla 13. Costo de implementación EDGE**

GSM	COSTO UNITARIO	10 CELDAS	TOTAL
1 RADIO EDGE	\$5,500.00	10	\$55,000.00
BTS GSM	\$15,000.00	10	\$150,000.00
CORE RED IP GPRS / EDGE	\$2,000,000.00	1	\$2,000,000.00
E1	\$2,000.00	10	\$20,000.00
TOTAL			\$2,225,000.00

**Tabla 14. Costo de implementación 1xRTT**

CDMA	COSTO UNITARIO	10 CELDAS	TOTAL
TARJETA XCEM, 1xRTT	\$15,000.00	10	\$150,000.00
BTS CDMA	\$60,000.00	10	\$600,000.00
CORE RED IP 1xRTT / 1xEVDO	\$2,000,000.00	1	\$2,000,000.00
E1	\$2,000.00	10	\$20,000.00
TOTAL			\$2,770,000.00

**Tabla 15. Costos de implementación 1xEVDO**

CDMA	COSTO UNITARIO	10 CELDAS	TOTAL
TARJETA DOM, 1xEVDO	\$15,000.00	10	\$150,000.00
BTS CDMA	\$60,000.00	10	\$600,000.00
CORE RED IP 1xRTT / 1xEVDO	\$2,000,000.00	1	\$2,000,000.00
E1	\$2,000.00	20	\$40,000.00
TOTAL			\$2,790,000.00

En los cuadros anteriores se anotó el costo aproximado de los elementos principales necesarios para establecer una red de datos móvil. Cabe destacar que aunque existen muchos más elementos que son necesarios en un sistema de datos móvil, la mayoría de éstos son de cierta manera comunes entre todas las redes. Es decir, los elementos que conforman el corazón de cada red y que diferencian una tecnología de otra son los que fueron expuestos en los cuadros. Es importante explicar que “Core de Red IP” se refiere solamente a aquellos elementos que forman el centro de la red IP de cada sistema y no incluyen ningún servicio adicional como MMS, WAP, PoC, etc.

En cuanto a los cuadros anteriores, se concluye que la implementación de una red 1xEVDO es la que resulta económicamente más costosa de las tecnologías analizadas, mientras las red GPRS es la menos costosa. En general, los sistemas basados en tecnología CDMA tienen un costo de implementación mayor que aquellos sistemas basados en tecnología GSM.

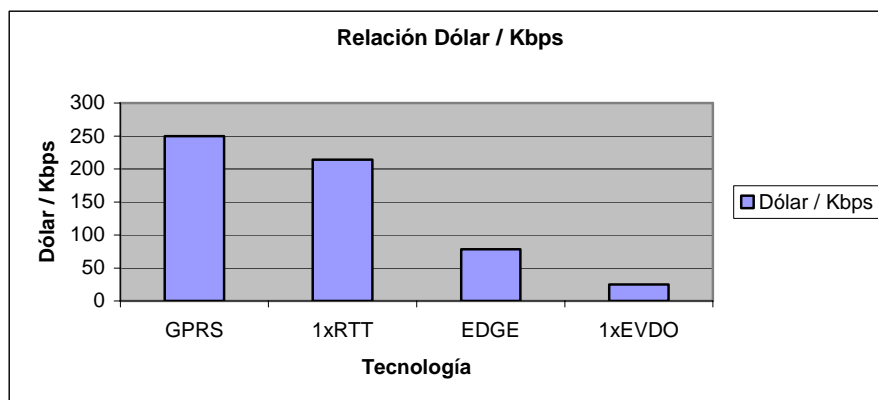
Otra forma de analizar el tema de costos es por medio de lo que se conocerá en este trabajo de graduación como indicador Dólar / Kbps. Para determinar el indicador Dólar / Kbps se procederá a dividir el valor de una tarjeta o radio de acceso dentro del throughput promedio alcanzado por cada sistema. Vale la pena mencionar que, como el valor del Core de Red de cada uno de los sistemas es una inversión única que realiza el operador y además el valor de éste es muy similar entre cada tecnología, no se tomará en cuenta para determinar la relación Dólar / Kbps. De esta manera se obtiene el siguiente cuadro:

**Tabla 16. Comparación costo-Throughput de Sistemas Móviles de Datos**

	TARJETA O RADIO DE ACCESO	THROUGHPUT PROMEDIO	DOLAR / THROUGHPUT
GPRS	\$5,000.00	20 Kbps	250 Dólar / Kbps
EDGE	\$5,500.00	70 Kbps	79 Dólar / Kbps
1xRTT	\$15,000.00	70 Kbps	214 Dólar / Kbps
1xEVDO	\$15,000.00	600 Kbps	25 Dólar / Kbps

Se pueden concluir varias cosas a partir de los resultados obtenidos. Para empezar, es posible observar que a menos capacidad en throughput de cada sistema, más costosa es la transmisión de datos. Es decir, ya sea que la tecnología en cuestión esté basada en GSM o CDMA, el beneficio obtenido por incrementar la capacidad en tasa de transmisión para el usuario es mucho mayor al costo que tiene para el operador la inversión hecha sobre determinada tecnología. Dicho de otra manera, a mayor throughput, menor el costo por Kbps.

**Figura 18. Relación Dólar/Kbps de Sistemas Móviles de Datos**



Finalmente se puede decir que si lo que se desea es masificar el acceso a una red de datos, las tecnologías GPRS / EDGE son las indicadas (especialmente EDGE), pues el bajo costo de inversión con respecto a sus contrapartes basadas en CDMA es bastante marcado. Por el contrario, si lo que se desea es proveer un servicio de alto throughput al usuario en donde se pueda maximizar la relación Dólar / Kbps para el operador, 1xEVDO se presenta como la más apropiada. Sin embargo, cabe aclarar que 1xEVDO es solamente una red de datos móvil que no provee el servicio de voz. Queda entonces descartada la implementación de una red GPRS o 1xRTT pues el incremento en la inversión sobre una red superior es casi inexistente.

Es necesario aclarar que dada la confidencialidad que solicitó el proveedor de los datos de Costo de Equipo, no será posible divulgar la fuente de los datos. Sin embargo, personalmente puedo decir que las cifras son verídicas. Los números descritos deben tomarse solamente como referencia para fines de estudio. El costo final que realmente tendrá el equipo para el operador dependerá de la negociación que realice éste con su proveedor de equipo y del dimensionamiento que realice de su red.

## **8. ¿CUÁL ES EL MEJOR SISTEMA MÓVIL DE DATOS PARA GUATEMALA?**

Finalmente llegó el momento de decidir con base a todos los aspectos analizados cuál es el Sistema Móvil de Datos que se adapta de mejor manera y es más apropiada para Guatemala. En este punto concluyente de este trabajo de graduación, resulta importante entender los resultados obtenidos en los capítulos de Análisis técnico comparativo, Evolución y estado actual de los Sistemas Móviles de Datos a nivel mundial y Costos de implementación.

Retomando los puntos del párrafo anterior, no es posible fiarse solamente de una variable en específico para decidir el mejor Sistema Móvil de Datos para Guatemala. Por ejemplo, no es apropiado pensar que la tecnología que provee la mayor tasa de transmisión de datos es la mejor pues hay que sopesar el costo que tiene esta tecnología para el operador. De igual manera, no es conveniente decir que la red que tenga el menor costo de implementación es la más apropiada pues es necesario analizar qué servicios pueden ser prestados sobre ésta. En fin, como puntos de equilibrio entre las variables mencionadas, hay que tomar en cuenta indicadores como estadísticas de tráfico de datos y capacidad que tiene determinada tecnología para evolucionar.

De esta forma, es conveniente presentar a continuación un cuadro comparativo de los 5 Sistemas Móviles de Datos estudiados y exponer todas las variables e indicadores sobre las cuales fueron sujeto de estudio cada una de las tecnologías. Esto permitirá vislumbrar de una manera más clara las fortalezas y debilidades de los sistemas, de modo que tomar una decisión sobre la tecnología móvil de datos más apropiada para Guatemala sea más fácil.

**Tabla 17. Comparación Throughput, espectro y movilidad**

Tecnología	Throughput promedio	Espectro por usuario	Movilidad
<b>GPRS</b>	8 Kbps - 30 Kbps	200 KHz	SÍ
<b>EDGE</b>	8 Kbps - 160 Kbps	200 KHz	SÍ
<b>1xRTT</b>	30 Kbps - 144 Kbps	1.25 MHz	SÍ
<b>1xEVDO</b>	600 Kbps	1.25 MHz	SÍ
<b>WIMAX</b>	500 Kbps - 2 Mbps	11 KHz	SÍ

**Tabla 18. Comparación servicios, seguridad de acceso y relación Dólar/Kbps**

Tecnología	Servicios	Seguridad de acceso	Relación Dólar / Kbps
<b>GPRS</b>	WAP, MMS, PoC	Media	250 Dólar / Kbps
<b>EDGE</b>	WAP, MMS, PoC, INTERNET, VIDEO STREAMING	Media	79 Dólar / Kbps
<b>1xRTT</b>	WAP, MMS, PoC, INTERNET, VIDEO STREAMING	Alta	214 Dólar / Kbps
<b>1xEVDO</b>	WAP, MMS, PoC, INTERNET, VIDEO STREAMING	Alta	25 Dólar / Kbps
<b>WIMAX</b>	WAP, MMS, PoC, INTERNET, VIDEO STREAMING	Muy Alta	No Disponible

En los cuadros anteriores se puede ver un resumen de todas aquellas variables que fueron analizadas detenidamente en este trabajo de graduación. Viendo cada una de las características expuestas, WIMAX se puede revelar como una muy buena opción. Es decir, es capaz de ofrecer una tasa de transmisión muy buena, de hecho la mejor de todas las tecnologías en cuestión. Además el ancho de banda espectral por usuario es el menor y aunque la característica de movilidad no ha sido demostrada extensamente en redes comerciales, sí está definida en el estándar 802.16e. Como consecuencia del throughput que es capaz de dar, servicios básicos de datos como WAP, MMS, PoC, Internet y Video Streaming pueden brindarse sobre la plataforma WIMAX. La seguridad de acceso es alta gracias a los avanzados algoritmos de encriptación. Ahora, si WIMAX sobresale en casi todos las variables estudiadas, ¿por qué no sería elegida como la más apropiada para Guatemala? WIMAX a diferencia de los otros Sistemas Móviles de Datos analizados tiene peculiaridades que merecen ser tratadas de manera distinta. Para empezar, este

sistema no evoluciona de una red celular tal y como lo hacen los otros sistemas. Es decir, mientras las otras tecnologías ofrecen servicios de datos, esto lo hacen como servicios de valor agregado, como algo secundario. El servicio principal que las otras redes ofrecen es el de comunicación de voz. Puesto de otra manera, WIMAX es en sí una red de datos. Además, debido a que WIMAX es todavía una tecnología bastante novedosa, todavía no hay resultados concluyentes y contundentes que puedan probar cada una de sus características. Por ejemplo aunque la movilidad está completamente descrita y definida en el estándar IEEE 802.16e, ésta todavía se encuentra en una fase de pruebas. Hay que agregar también que esta tecnología es puramente de datos y que no presta el servicio de comunicación de voz, a menos que se compruebe el funcionamiento de VoIP de manera confiable en este sistema. Con esto no se quiere decir que se pretende desligar totalmente a WIMAX del resto de tecnologías. Incluso, en los ojos del cliente, lo que puede ofrecer WIMAX sí es comparable con lo que pueden ofrecer los demás sistemas. Simplemente la intención de este análisis es la de hacer ver que WIMAX necesita más tiempo para madurar de modo que pueda corroborarse fehacientemente todas sus características. La idea que exista un grupo como el WIMAX Forum en donde varias empresas acuerdan los distintos parámetros del estándar es algo muy positivo, pues con esto abren el camino hacia la interoperabilidad entre redes y dispositivos de distintos proveedores, algo que fue en gran parte el éxito alcanzado por sistemas GSM / GPRS / EDGE.

Se ha reducido entonces las opciones a escoger. Dos de las tecnologías restantes están basadas en el acceso GSM y las otras dos en CDMA. Con las opciones que quedan, se puede eliminar a GPRS y a 1xRTT. Las razones son las siguientes. GPRS no sería tomada en cuenta porque considerando sus características y analizando también sus debilidades, es posible observar que la tasa de transmisión de datos es muy pobre. Como consecuencia, servicios como Internet y Video Streaming no son recomendados para una red GPRS. Además, considerando que los requerimientos de espectro son idénticos a los de EDGE, el costo de inversión es muy similar a la de EDGE y la Relación Dólar / Kbps es muy alta, no tendría sentido implementar una red GPRS cuando por una misma inversión inicial se puede instalar un sistema como EDGE, que provee mejores tasas de transmisión de datos.

De manera similar se tiene el caso de 1xRTT. Esta tecnología es muy similar a 1xEVDO en cuanto que las dos evolucionan de CDMA y tienen los mismos requerimientos espectrales. Básicamente los elementos del core de cada una de las redes son los mismos y la seguridad de acceso es muy buena en ambos casos. Sin embargo existen discrepancias. A diferencia de 1xRTT la tecnología basada en el estándar IS-856 no tiene definida la comunicación de voz . Además, al igual que en el caso GPRS / EDGE, los throughputs y costos de inversión de cada una de las plataformas son distintos. 1xEVDO brinda tasas de transmisión de datos mucho mayores a los ofrecido por 1xRTT y prácticamente la inversión es la misma. Esto hace que la Relación Dólar / Kbps sea mucho menor para 1xEVDO que para 1xRTT. De esta forma, no se considera lógico implementar una red 1xRTT cuando por una inversión similar es posible obtener una Sistema Móvil de Datos mucho mejor. Este sería el caso si no se considera necesario tener tanto una red de datos como una red de voz.

Finalmente quedan dos tecnologías móviles de datos de las cuales se elegirá una como la más apropiada dada la realidad de Guatemala. Es necesario analizar detenidamente toda la información recabada para tomar la decisión correcta.

Estadísticamente el tráfico y el consumo de servicios de datos en Guatemala está creciendo. Y aunque no es posible encontrar una relación de este crecimiento con respecto al desarrollado por otros países, queda la certeza según los datos proveídos en el capítulo Evolución y Estado Actual de los Sistemas Móviles de Datos a Nivel Mundial que el consumo de datos por parte del usuario se está incrementando. Si bien Guatemala no tiene el grado de madurez en este sentido como lo tienen otros países que fueron analizados como Suecia y Hong Kong, resulta importante el crecimiento en cuanto a tráfico que muestra Guatemala considerando el hecho que conforme el consumo del servicio de voz se sature, la tendencia natural que otros países y operadores han tomado es la de explotar aún más sus redes de conmutación de paquetes. Aquí es donde EDGE exhibe una ventaja sobre 1xEVDO, ya que aunque técnicamente la última tiene mejores características, las posibilidades de EDGE para evolucionar en una mejor y más robusta

tecnología son mejores. EDGE tiene también la ventaja de tener definido el roaming entre redes de distintos países, algo que no presenta EVDO.

Tal y como fue mencionado en un capítulo anterior, muchos operadores de telefonía celular están migrando sus redes CDMA a redes GSM debido a que el panorama de evolución es mucho más claro. Un sistema GSM / EDGE puede migrar a UMTS modificando solamente su red de acceso de radio y a su vez UMTS puede evolucionar en las redes de datos HSDPA y HSUPA, las cuales son consideradas tecnologías de Generación 3.5.

También hay que tomar en cuenta que EDGE es un estándar mucho más abierto que 1xEVDO. La interoperabilidad entre elementos de distintos proveedores es mucho más transparente para EDGE que para su contraparte. Esto beneficia a los operadores en el sentido que pueden tener en su red de datos dispositivos de varios fabricantes según las fortalezas de cada uno de estos fabricantes para determinado servicio o elemento.

Por último está el factor económico. La implementación de una red EDGE es menos costosa que la implementación de una red 1xEVDO. Y aunque la Relación Dólar / Kbps es menor para EVDO, la diferencia de este indicador con respecto a EDGE es muy poca. Además hay que considerar que en Guatemala en la actualidad todavía no han sido creadas las necesidades que requieran de tasas de transmisión tan altas en Sistemas Móviles de Datos como las tasas que puede ofrecer 1xEVDO.

Como conclusión final a esta investigación y después de haber realizado un estudio minucioso de varios factores técnicos y no técnicos en cuanto a los Sistemas Móviles de Datos analizados, EDGE se presenta como la mejor tecnología a implementar en un país con las características de Guatemala. Tanto operador como cliente se ven beneficiados con esta elección según las razones explicadas en los párrafos anteriores. Sin embargo queda la expectativa por determinar si en un futuro cercano se crearán las necesidades para utilizar servicios móviles de datos de modo que se justifique no sólo la elección de EDGE sino las tecnologías en las que este último pueda evolucionar.

## 9. CONCLUSIONES

- WIMAX es la tecnología móvil de datos que mayor throughput alcanza y que menos espectro por usuario requiere.
- GPRS, EDGE, 1xRTT, 1xEVDO y WIMAX ofrecen movilidad dentro de sus redes, aunque en el último sistema mencionado no ha sido comprobado el desempeño de esta movilidad.
- EDGE, 1xRTT, 1xEVDO y WIMAX poseen las características técnicas necesarias para soportar los servicios WAP, MMS, PoC, Internet y Video Streaming.
- Los costos de implementación de las redes móviles de datos basadas en el acceso GSM (GPRS / EDGE) son menores que los costos de implementación de las redes basadas en el acceso CDMA (1xRTT / 1xEVDO).
- 1xEVDO posee la relación Dólar / Kbps más baja de los sistemas analizados.
- Países que han madurado y saturado la penetración de telefonía celular están concentrando sus esfuerzos por explotar los servicios de valor agregado sobre sus redes móviles de datos.
- Guatemala tiene un crecimiento constante con respecto al tráfico en sistemas móviles de datos.
- Porcentualmente los operadores de redes móviles en Latinoamérica han invertido más en sus redes celulares que los operadores en cualquier otra región del mundo

- La tendencia generalizada en Latinoamérica ha sido la de implementar redes GSM o en su defecto migrar las redes CDMA, TDMA y FDMA a GSM.
- Japón, Corea del Sur y Estados Unidos son los países que más redes CDMA2000 tienen implementadas.
- EDGE es el Sistema Móvil de Datos más apropiado para Guatemala.

## 10. RECOMENDACIONES

- La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala necesita poner más atención en la actualización de la información estadística que posee, principalmente en la homologación de indicadores concernientes a los sistemas móviles de datos que sugiere la ITU.
- Para un futuro estudio, cuando WIMAX haya alcanzado una madurez como tecnología móvil de datos, se sugiere validar sus alcances y características técnicas.
- Realizar un análisis técnico de la tecnología como un estudio de costos y de demanda del mercado son necesarios para que un futuro operador analice antes de implementar un Sistema Móvil de Datos.
- El operador necesita promover y crear aplicaciones útiles sobre las plataformas móviles de datos de modo que se puedan crear necesidades que beneficien tanto al cliente al tener acceso a innovadores servicios y aplicaciones como al operador al encontrar otra fuente de ingresos que complemente a lo obtenido por la red de voz.
- Considerar la factibilidad del servicio de VoIP sobre las redes móviles de datos para que éste pueda llegar a sustituir una red de conmutación de circuitos como GSM o CDMA.

# 11. BIBLIOGRAFÍA

- Bates, Regis. 2002. *GPRS (General Packet Radio Service)*. 1era Edición. McGraw-Hill. 380 págs.
- CDMA Development Group. 2006. *The Smart Money is On 3G, The Accelerating Migration to 3G Technologies*. CDG. 16 págs.
- Chauhan, R. 2003. *A Walk Through To IS-95A, IS-95B, CDMA-2000 And Call Processing*. 31 págs.
- Chesterfield, Julian, et al. *Experiences with Multimedia Streaming over 2.5 G and 3 G Networks*. 7 págs.
- Ericsson. 2003. *EDGE Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks*.
- Fujitsu. 2004. *RF Spectrum Utilization in WiMAX*. 9 págs.
- Gruber, Harald. 2005. *The Economics of Mobile Telecommunications*. 1era. Edición. Nueva York. Cambridge University Press. 323 págs.
- Halonen, Timo; J. Romero y J. Melero. 2003. *GSM, GPRS and EDGE Performance*. 2da. Edición. West Sussex. John Wiley & Sons. 615 págs.
- Harte, Lawrence. 2004. *Introduction to Code Division Multiple Access: Network, Services, Technologies and Operation*. 1era Edición. Althos Publishing. 85 págs.
- Harte, Lawrence. 2004. *Introduction to EVDO: Physical Channels, Logical Channels, Network and Operation*. 1era Edición. Althos Publishing. 69 págs.
- Informa Telecoms & Media. 2006. *Global EDGE Operator Status*. 3G Americas.
- Intel. 2004. *Adaptive Modulation (QPSK, QAM)*. 4 págs.
- Intel. 2004. *Intel Technology Journal, WiMAX*. 96 págs.
- Intel. 2004. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. 2 págs.
- Intel. 2004. *Understanding Wi-Fi and WiMAX as Metro-Access Solutions..* 16 págs.
- Karim, M. y M. Sarraf. 2002. *W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks*. 1era. Edición. McGraw-Hill. 384 págs.
- Korhonen, Juha. 2003. *Introduction to 3G Mobile Communications*. 2da. Edición. Massachussets. Artech House, Inc. 544 págs.

- Lewin, D y S. Sweet. 2005. *The economic impact of mobile services in Latin America*. Versión 1. GSM Association. 78 págs.
- Mohammad, Sharawi y D. Marko. 2000. *Introduction to Direct Sequence Spread Spectrum Communications*. 30 págs.
- Nokia. 2002. *GPRS System Course*. Nokia Networks.
- Nortel. 2000. *Teoría de CDMA y Diseño*. Edición 2.4.1. Nortel Networks.
- Nortel. 2001. *Bienvenido al Curso: CDMA 3G Data and Capacity Overview*. Nortel Networks.
- Nortel. 2001. *GSM System and Products Overview*. Doc. Number 412-SYS1-001.02.02. Nortel Networks.
- Nortel. 2003. *CDMA2000 1xEV-DO Deployment Guide*. Doc. Number 411-2133-932. Nortel Networks.
- Nortel. 2003. *CDMA2000 1xEV-DO System Overview Guide*. Doc. Number 411-2133-012. Nortel Networks.
- Nortel. 2004. *CDMA2000 1x Network Overview*. Doc. Number NN-20000-129. Nortel Networks.
- Nortel. 2004. *EDGE Deployment Guide*. Doc. Number 411-9001-801. Nortel Networks.
- Office of the Telecommunications Authority. 2006. *Key Statistics for Telecommunications in Hong Kong*. Office of the Telecommunications Authority. 2 págs.
- Open Mobile Alliance. 2003. *Multimedia Messaging Service Architecture Overview*. Open Mobile Alliance Ltd. 26 págs.
- Oshea, Dan. *Telephony's Complete Guide to WiMAX*. 2004. 10 págs.
- Park, Dong. 2002. *CDMA2000 Networks for Multimedia Service*. Samsung Electronics. 42 págs.
- Pearson, Chris y E. Rojas. 2003. *Wireless Trends in the Americas: The Proliferation of GSM 850 MHz and EDGE*. 3G Americas. 32 págs.
- Prasad, Ramjee y Marina Ruggieri. 2003. *Technology Trens in Wíreless Communications*. 1era. Edición. Massachusetts. Artech House, Inc. 310 págs.

- RADCOM. 2003. *Introduction to CDMA2000 1x/1x-EV-DO*. Nueva Jersey. Radcom Ltd. 52 págs.
- Seurre, Emmanuel; P. Savelli y P. Pietri. 2003. *EDGE for Mobile Internet*. 1era. Edición. Massachusetts. Artech House, Inc. 228 págs.
- Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 2003. *Estadísticas Mensuales y Anuales a Nivel Comunal: 2000 – Primer Trimestre 2003*. Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 131 págs.
- Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 2004. *Estadísticas Mensuales y Anual a Nivel Comunal: 2003*. Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 52 págs.
- Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 2005. *Estadísticas Mensuales y Anual a Nivel Comunal: 2004*. Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 38 págs.
- Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 2006. *Estadísticas Mensuales y Anual a Nivel Comunal: 2005*. Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile. 36 págs.
- TellaSonera. 2004. *Streaming in Mobile Networks*. 15 págs.
- University of Hull. *Appendix D – Digital Modulation and GMSK*. 11 págs.
- Williamson, Stefan y F. Ost. 2004. *The Swedish Telecommunications Market 2003*. The National Post and Telecom Agency. 87 págs.
- Williamson, Stefan y F. Ost. 2005. *The Swedish Telecommunications Market 2004*. The National Post and Telecom Agency. 86 págs.
- Williamson, Stefan y F. Ost. 2006. *The Swedish Telecommunications Market first half-year 2005*. The National Post and Telecom Agency. 85 págs.
- Williamson, Stefan. 2003. *The Swedish Telecommunications Market 2002*. The National Post and Telecom Agency. 89 págs.
- Yang, Samuel. 2004. *3G CDMA2000 Wireless System Engineering*. 1era. Edición. Massachusetts. Artech House, Inc. 255 págs.

## 11.1. Referencias de Internet

- International Telecommunications Union, ITU. *Key Indicators of the Telecommunications / ICT Sector.* [www.itu.int/ITU-D/ict/material/IndDef\\_e\\_v2005.doc](http://www.itu.int/ITU-D/ict/material/IndDef_e_v2005.doc)
- Telecommunications Management Group. *Mobile Multimedia Performance Indicators.* <http://d-two.info/files/MobileMultimediaIndicators.htm>
- Telecommunications Management Group. *Superstars of the Mobile Internet.* <http://photos1.blogger.com/img/88/2117/640/Superstars.1.jpg>
- *The World Factbook.* <https://www.cia.gov/cia/publications/factbook/index.html>

## 12. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

- **8-PSK** – Modulación por Desplazamiento de Fase de 8 Estados.
- **AAA** – Servidor de Autorización y Autenticación.
- **Abonado** – Suscriptor de una red de telefonía.
- **AuC** – Centro de Autenticación.
- **BG** – Compuerta Frontera
- **BPSK** – Modulación por Desplazamiento de Fase Binario.
- **BSC** – Controlador de Estaciones Base.
- **BSS** – Subsistema de Radio de la redes celulares.
- **BTS** – Estación Base.
- **C / I** – Relación Portadora sobre Interferencia. Indicador que muestra el grado de influencia de la interferencia del ruido sobre un señal. A menor interferencia mayor el valor de la relación y a mayor interferencia menor el valor de la relación.
- **Canal de Reversa** - Canal de comunicación que se origina en la estación móvil con destino a la red de acceso.
- **Canal Directo** - Canal de comunicación que se origina en la red de acceso con destino a la estación móvil.
- **CAPEX** – Gasto que realiza una empresa para adquirir nuevos activos físicos.
- **CDMA** – Acceso Múltiple por División de Código.
- **CDMA 2000 1xEVDO** - Sistema de comunicación celular de generación 3 basado en acceso por división de código.
- **CDMA 2000 1xRTT** – Sistema de comunicación celular de generación 2.5 basado en acceso por división de código.
- **cdmaOne** – Tecnología de comunicación celular CDMA de 2da generación antecesora de CDMA 2000.
- **CDR** – Récord de Detalle de Llamada. Archivo que contiene información acerca del movimiento de cada llamada en una red de telefonía celular.
- **CG** – Compuerta de Facturación.

- **Chip Rate** – Razón o tasa de transmisión de bits de información de la modulación spread spectrum.
- **Codificación Turbo** – Algoritmo de codificación de canal de alto rendimiento utilizado en comunicaciones satelitales y celulares en donde se busca la máxima transferencia de datos en un canal de ancho de banda limitado y con alta presencia de ruido.
- **Código PN** – Código de Pseudoruido. Señal digital con características similares al ruido que se utiliza para modular una señal y hacer que ésta parezca ruido.
- **Códigos de Walsh** – Códigos utilizados para dispersar la señal original en redes CDMA.
- **Core de Red** – Corazón o parte central de una red.
- **CS** – Esquema de Codificación. Algoritmo de codificación de canal en redes GPRS.
- **Downlink** – Conocido también como Canal Directo, es el canal de comunicación que se origina en la red de acceso con destino a la estación móvil.
- **EDGE** – Tasas de Datos Mejoradas para Evolución Global. Sistema de conmutación de datos de Generación 2.5 que utiliza a GSM como red de acceso.
- **EGPRS** – Servicio General de Paquetes por Radio Mejorado.
- **EIR** – Registro de Identificación de Equipo.
- **Espacio de Tiempo** – Conocido también por su nombre en inglés Time Slot, representa el espacio en tiempo en el que se divide el acceso a una frecuencia según la multiplexación TDMA.
- **Estación Móvil** - Término común que se utiliza para referirse al teléfono celular.
- **EVDO** – Evolución Optimizada de Datos.
- **FDMA** – Acceso Múltiple por División de Frecuencia. Sistema celular que basa la distribución de llamadas en la red por la asignación de frecuencias a los usuarios.
- **GGSN** – Nodo de Soporte para Compuerta de GPRS.
- **GMSK** – Modulación por Mínimo Desplazamiento Gausiano.
- **GPRS** – Servicio General de Paquetes por Radio.

- **GSM** – Sistema Global para Comunicaciones Móviles.
- **HA** – Agente Local.
- **Handoff** – Conocido como Traspaso en español, se refiere al proceso en el que una llamada es traspasada de un sector a otro sector o sitio vecino. Generalmente se utiliza este término en redes CDMA.
- **Handover** – Conocido como Traspaso en español, se refiere al proceso en el que una llamada es traspasada de un sector a otro sector o sitio vecino. Generalmente se utiliza este término en redes GSM.
- **HLR** – Registro de Posición Local.
- **IEEE** – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
- **IEEE 802.16** – Estándar definido por la IEEE que describe al sistema WIMAX.
- **IMEI** – Identidad Internacional de Equipo Móvil. Identificación única propia de cada teléfono GSM o UMTS que permite la validación de determinada terminal en una red celular, de modo que un teléfono reportado como robado pueda ser bloqueado.
- **IS-2000** – Estándar que define a la tecnología CDMA 2000 1xRTT.
- **IS-856** – Estándar definido por la ITU que describe la tecnología CDMA 2000 1xEVDO.
- **IS-95** – Estándar que define a la tecnología de 2da generación conocida como cdmaOne.
- **ITU** – Unión Internacional de Telecomunicaciones.
- **MCS** – Esquema de Codificación en Modulación. Algoritmo de codificación de canal en redes EDGE. Análogo a los CS's en GPRS.
- **MSC** – Centro Móvil de Conmutación.
- **NSS** – Subsistema de Red de las redes celulares.
- **OFDM** – Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia.
- **OSS** – Subsistema de Operación de las redes celulares.
- **PCF** – Módulo Controlador de Paquetes.
- **PCU** – Unidad de Control de Paquetes.

- **PDP Context** – Proceso por el cual un suscriptor activa una sesión de GPRS y obtiene una dirección IP por parte de la red.
- **PDSN** – Nodo de Servicio de Paquetes de Datos.
- **PDTCH** – Canal de Tráfico de Paquetes de Datos. Canal de radio destinado para la transferencia de datos de la red GPRS / EDGE.
- **PSTN** – Red Conmutada de Telefonía Pública.
- **QoS** – Calidad de Servicio.
- **QPSK** – Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura.
- **RAN** – Red de Acceso de Radio. Porción de la red celular que maneja el acceso radial del suscriptor a la red.
- **RC** – Configuración de Radio en CDMA 2000 que representa la modulación y codificación de canal.
- **RTT** – Tecnología de Transmisión de Radio.
- **Salto en Frecuencia** – Conocido como Frequency Hopping en inglés, se refiere al proceso en el cual, siguiendo un algoritmo determinado, una llamada en una red GSM salta en distintas frecuencias.
- **SGSN** – Nodo de Soporte para Servicio.
- **SIM** – Módulo de Identidad del Suscriptor. Tarjeta de memoria utilizada en teléfonos GSM que guarda información propia del suscriptor. La misma tarjeta puede ser introducida en otros teléfonos conservando la identidad del usuario y sus atributos y permisos.
- **Soft Handoff** - En la telefonía celular, se refiere al traspaso de una comunicación de un sector a otro de manera *suave*, sin perder en ningún momento el enlace.
- **Spread Spectrum** – Espectro Disperso. Tecnología de transmisión radial que dispersa el mensaje original sobre una señal con un ancho de banda mucho mayor de modo que se pueda evitar la interceptación y el descifrado del mensaje.
- **TDMA** – Acceso Múltiple por División de Tiempo. Sistema celular que basa la distribución de llamadas en la red por la división en tiempo de los canales o frecuencias asignadas a determinado sector.
- **Terminal Móvil** – Término común que se utiliza para referirse al teléfono celular.

- **Throughput** – Tasa o razón de transmisión de datos sobre un canal de comunicación.
- **TRAU** – Unidad Transcodificadora y Adaptadora de Velocidad.
- **Uplink** – Conocido también como Canal de Reversa, es el canal de comunicación que se origina en la estación móvil con destino a la red de acceso.
- **Usuario Multimedia** – Usuario que ha utilizado un servicio multimedia como WAP, Internet, PoC, MMS, Internet, etc... al menos una vez durante el último mes, sin importar la red de soporte del servicio.
- **VLR** – Registro de Posición de Visitantes.
- **VoIP** – Voz Sobre IP. Sistema de comunicación de voz digital sobre redes IP.
- **WIMAX** – Acceso de Microonda para Interoperabilidad Mundial.