

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**PROGRAMA DE GRADUADOS EN ELECTRÓNICA,  
COMPUTACIÓN, INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES**



**ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TERCERA  
GENERACIÓN EN MÉXICO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES**

**POR:**

**JOSÉ LUIS SAAVEDRA ROMERO**

**MONTERREY, N.L.  
Abril 2004**

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

PROGRAMA DE GRADUADOS EN ELECTRÓNICA,  
COMPUTACIÓN, INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES



ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TERCERA  
GENERACIÓN EN MÉXICO

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
ACADEMICO DE:

MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

POR:

JOSÉ LUIS SAAVEDRA ROMERO

MONTERREY, N.L.  
Abril 2004

**ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TERCERA  
GENERACIÓN EN MÉXICO**

**POR**

**JOSÉ LUIS SAAVEDRA ROMERO**

**TESIS**

**Presentada al Programa de Graduados en Electrónica, Computación, Información  
y Comunicaciones**

**Este trabajo es requisito parcial para obtener el grado de Maestro en  
Administración de las Telecomunicaciones**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**ABRIL 2004**

## **Dedicatoria**

A mis padres José Luis y Luz María, a mis hermanos Ariadna y Hugo, por todo su gran amor y cariño que siempre me han demostrado, porque siempre estarán en mi corazón.

A Dios por toda mi vida

## **Agradecimientos**

A Perla Huerta por toda la ayuda y apoyo incondicional que me brindó a lo largo de mis estudios de maestría.

Al Dr. Ricardo Pineda Sema, por su valiosa orientación, tiempo y apoyo para la realización de este trabajo.

A mis sinodales, el Dr. César Vargas Rosales y el Dr. Carlos Mex Perera, por sus consejos para el enriquecimiento de la tesis.

Al ITESM Campus Monterrey por haberme otorgado Beca de Excelencia para la realización de mis estudios.

A Fundación Telmex por su apoyo otorgado.

A todos mis profesores por transmitir parte de su conocimiento durante sus cátedras.

A mi tía Hortensia por ser como mi segunda madre.

A todos mis amigos de Puebla por su amistad y apoyo.

## Resumen

El espectro radioeléctrico es un recurso indispensable para la correcta evolución de las tecnologías de radiocomunicación como lo es la telefonía celular, la cual actualmente se encuentra en proceso de evolución hacia la tercera generación (3G) que pretende una integración de múltiples servicios como lo son voz, datos, multimedia, etc., así como un roaming global.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) propuso un conjunto de bandas de frecuencia para la implementación de las tecnologías de tercera generación (3G), las cuales deben ser tomadas en cuenta por las administraciones correspondientes para una adecuada implementación de la nueva generación, y de esta manera cumplir con uno de los objetivos que es el de ofrecer a los usuarios un roaming global.

Sin embargo, en muchos países, las bandas de frecuencia recomendadas están siendo utilizadas actualmente por otros servicios. México no está alejado de este problema, por lo que el presente trabajo consistió en analizar las características técnicas y naturales de los servicios planeados para 3G, las bandas propuestas por la UIT, el uso actual y planeado de las bandas que están asignadas actualmente en México, las oportunidades potenciales para compartir el espectro entre los servicios de 3G y los actuales concesionarios, así como del impacto potencial que se tendría sobre éstos últimos al segmentar dicha banda para proveer un espectro separado tanto para servicios 3G y servicios actuales. Así mismo, se ha realizado una estimación de las necesidades de espectro en nuestro país mediante el modelado de la metodología propuesta por la UIT para el cálculo de las necesidades de espectro para las tecnologías de 3G, con la cual se llegó a la conclusión que el espectro que actualmente está designado a la telefonía celular (190 MHz) sería suficiente para desplegar 3G de acuerdo a las consideraciones de mercado, servicios y entornos utilizados.

## Contenido

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>v</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>xi</b>
<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Presentación y Justificación del Problema.....	2
1.3. Objetivo.....	6
1.4. Restricciones.....	6
1.5. Metodología y Métodos.....	7
1.6. Instrumentación.....	7
1.7. Producto Final.....	7
1.8. Contribución Esperada.....	8
<b>Capítulo 2. Introducción a los Sistemas de Tercera Generación (3G).....</b>	<b>9</b>
2.1. Generaciones de las Redes Móviles.....	9
2.1.1. Primera Generación.....	9
2.1.2. Segunda Generación.....	10
2.1.2.1. Global System for Global Communications (GSM).....	11
2.1.2.2. Digital-AMPS (D-AMPS).....	11
2.1.2.3. Code Division Multiple Access (CDMA, IS-95).....	12
2.1.2.4. Personal Digital Cellular (PDC).....	12
2.1.3. Segunda Generación Avanzada (2.5 G).....	14
2.1.3.1. High Speed Circuit Switched Data (HSCSD).....	15
2.1.3.2. General Packet Radio Services (GPRS).....	15
2.1.3.3. Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).....	15
2.1.4. Tercera Generación.....	16
2.1.4.1. IMT-2000.....	19
2.1.4.1.1 Interfaces de Radio Terrestres IMT-2000.....	19

2.1.4.2. 3GPP.....	21
2.1.4.3. 3GPP2.....	23
2.1.4.4. Servicios y Aplicaciones de los Sistemas de 3G.....	24
2.1.4.4.1. Servicios Para Negocios.....	25
2.1.4.4.2. Servicios Personales.....	26
2.1.5. Evolución hacia los Sistemas de 3G.....	27
2.1.5.1. Evolución del Sistema GSM.....	27
2.1.5.2 Evolución del Sistema TDMA/IS-136.....	28
2.1.5.3. Evolución del Sistema IS-95.....	29
<b>Capítulo 3. Mercado de la Telefonía Celular en México.....</b>	<b>30</b>
3.1. Operadores de Telefonía Móvil en México.....	36
3.1.1. Telcel.....	36
3.1.2. Telefónica.....	37
3.1.3. Iusacell.....	38
3.1.4. Unefón.....	38
3.2. Camino a la Tercera Generación.....	39
<b>Capítulo 4. Bandas de Espectro Potenciales para 3G.....</b>	<b>41</b>
4.1. Bandas Recomendadas para la Implementación de IMT-2000.....	41
4.2. Propuestas de Bandas de Espectro.....	45
4.2.1. Propuesta de Alcatel.....	45
4.2.2. Propuesta de Ericsson.....	46
4.2.3. Propuesta de Brasil.....	46
4.2.4. Propuesta de Canadá.....	47
4.2.5. Propuesta de Estados Unidos.....	47
4.3. Asignación en Europa.....	48
4.4. Posición de México.....	48
4.5. Análisis Sobre las Propuestas.....	50
4.5.1. Banda de 1710-2200 MHz.....	50
4.5.2. Banda 2.5-2.69 GHz.....	52
4.6. Conclusiones Sobre el Análisis de las Bandas Propuestas.....	54

<b>Capítulo 5. Espectro Requerido para 3G en México.....</b>	<b>56</b>
5.1. Cálculo de las necesidades de espectro para México.....	56
5.1.1. Entornos para el cálculo de las necesidades de espectro.....	59
5.1.2. Servicios representativos de las tecnologías IMT-2000.....	59
<b>Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>	<b>76</b>
6.1. Conclusiones.....	76
6.2. Trabajos Futuros.....	77
<b>Bibliografía.....</b>	<b>78</b>
<b>Vita.....</b>	<b>81</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1. Abonados mundiales por tecnología de 2G.....	13
Figura 2.2. Nuevos Abonados en América Latina por Tecnología de 2G.....	14
Figura 2.3. Evolución de las tecnologías (crecimiento).....	17
Figura 2.4. Interfaces de Radio Terrestres IMT-2000.....	19
Figura 2.5. Modo de Operación FDD.....	22
Figura 2.6. Ejemplos de configuración de la trama TDD.....	22
Figura 2.7. Evolución de los Sistemas Móviles hacia 3G.....	29
Figura 3.1. Usuarios de telefonía Móvil en México 1990-2003.....	31
Figura 3.2. Penetración de la telefonía móvil en diferentes países.....	32
Figura 3.3. Evolución de la Penetración de la Telefonía Móvil en México.....	33
Figura 3.4. Evolución de la Penetración Telefonía Móvil en México por Región.....	34
Figura 3.5. Penetración esperada de la telefonía móvil por región.....	35
Figura 4.1. Bandas de Frecuencia para IMT-2000.....	42
Figura 4.2. Bandas Propuestas para la Región 2 (América).....	49
Figura 5.1. Esquema General de la Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro.....	58
Figura 5.2. Cálculo del Espectro (MHz) Necesario en base a la Tendencia de Penetración.....	72
Figura 5.3. Cálculo de Ancho de Banda (MHz) Necesario de acuerdo a Usuarios Potenciales/Km <sup>2</sup> asumidos en situaciones de alta densidad.....	73
Figura 5.4. Estimación del Foro UMTS de las Necesidades de Espectro.....	74

## Lista de Tablas

Tabla 3.1. Operadores de Telefonía Celular en México.....	36
Tabla 4.1. Servicios Asignados en México dentro de las Bandas Recomendadas por la UIT para los Sistemas IMT-2000.....	44
Tabla 4.2. Bloques de Sub-bandas para PCS en México.....	45
Tabla 5.1. Geometría y Dimensión de célula para cada entorno.....	60
Tabla 5.2. Área de célula para cada entorno (Km <sup>2</sup> ).....	61
Tabla 5.3. Razón neta de bit de usuario (Kbps).....	61
Tabla 5.4. Densidad de Población (Hab/Km <sup>2</sup> ) por año de acuerdo a las tendencias de penetración en la región 9.....	62
Tabla 5.5. Densidad de Población (Hab/Km <sup>2</sup> ) asumidas.....	62
Tabla 5.6. Razón de Penetración de los servicios para cada entorno.....	63
Tabla 5.7. Número de Usuarios por Célula para cada Entorno.....	64
Tabla 5.8. Intentos y duración (segundos) de llamada para cada servicio y entorno.....	64
Tabla 5.9. Tráfico por Usuario para cada servicio y entorno.....	65
Tabla 5.10. Tráfico por célula para cada servicio y entorno (segundos-llamada).....	66
Tabla 5.11. Tráfico por célula para cada servicio y entorno (Erlangs).....	66
Tabla 5.12. Número de canales de servicio por grupo de células.....	67
Tabla 5.13. Número de canales de servicio por célula.....	68
Tabla 5.14. Razón de Bit de Canal de Servicio (Kbps).....	68
Tabla 5.15. Tráfico por célula (Mbps/Célula).....	69
Tabla 5.16. Necesidades de Espectro Individuales para cada servicio y entorno (MHz)...	70
Tabla 5.17. Necesidades de Espectro combinando enlaces ascendente y descendentes (MHz).....	70

## Capítulo 1. Introducción.

En este capítulo se presenta una introducción de la problemática, así como del objetivo, restricciones, producto final y contribución esperada del presente trabajo.

### 1.1. Antecedentes

Desde sus inicios, las comunicaciones inalámbricas han sorprendido al mundo, a tal grado que hoy en día millones de personas cuentan con algún sistema móvil para comunicarse a través de las ondas de radio. Sin duda, las tecnologías de comunicación personal han sido un gran éxito en todo el mundo, incluyendo México, en donde el número de usuarios móviles ha superado al número de usuarios de telefonía fija o alámbrica.

Los servicios de la primera generación (1G) prácticamente sólo incluían servicios de voz, hoy en día la segunda generación avanzada (2.5G) nos permite además, servicios como envío de mensajes, datos, e-mail, etc. Sin embargo, se desarrollaron tecnologías diferentes en diferentes regiones, con lo cual la movilidad esta limitada al área de cobertura del proveedor.

Por otro lado, el Internet también ha tenido un crecimiento impresionante durante los últimos años, por lo que la tendencia mundial actual es proveer los mismos servicios de Internet (voz, sonido, video, datos a velocidades altas, etc) a través de nuevas tecnologías inalámbricas de 3G, y en un futuro 4G, incluyendo el servicio de roaming global.

Para proporcionar dichos servicios, las nuevas tecnologías requieren de un mayor ancho de banda, así como de una nueva asignación del espectro electromagnético que sea común globalmente para evitar los problemas de roaming. Las instituciones mundiales han dado sus recomendaciones con respecto a qué parte del espectro debe ser considerado para las tecnologías de 3G. Sin embargo en algunos países, entre los que se encuentra México, dicha banda de espectro recomendada, actualmente es utilizada por otros servicios, lo cual representa un grave problema para la implementación de la 3G. Para ello es de suma importancia que se analicen las características técnicas y naturales de los servicios planeados para 3G, las bandas propuestas, el uso actual y

planeado de las bandas que están asignadas actualmente en México, las oportunidades potenciales para compartir el espectro entre los servicios de 3G y los actuales concesionarios del espectro, así como del impacto potencial que se tendría sobre éstos últimos al segmentar dicha banda para proveer un espectro separado tanto para servicios 3G y servicios actuales.

## **1.2. Presentación y Justificación del Problema**

Las tecnologías de los servicios de comunicación personal (PCS) han sido un éxito enorme para la industria inalámbrica mundial tanto para servicios de voz como para datos de baja velocidad. Las tendencias en la tecnología inalámbrica demuestran que la penetración de la telefonía móvil ha alcanzado los niveles de la telefonía alámbrica e incluso la ha rebasado. Tan solo en México, al finalizar el año 2003 ya se contaba con 26.7 usuarios de telefonía móvil por cada 100 habitantes [Cofetel, 2004].

Tal como describe Raymond Steel, los servicios de telefonía celular comenzaron a ser ampliamente desarrollados durante los años 1980's. Estos sistemas de primera generación (1G) eran sistemas análogos y fueron muy importantes porque introdujeron características claves, tales como la comunicación con móviles, y también permitir a un móvil llamar desde cualquier lugar dentro del área de cobertura de la red. Los sistemas celulares de segunda generación (2G), desarrollados en los años de 1990's, fueron completamente digitales, aunque los servicios ofrecidos fueron esencialmente los mismos que los sistemas de 1G: voz y datos de baja velocidad. Inicialmente la mayoría de los usuarios eran hombres de negocios, pero con el tiempo y con la disminución de las tarifas, el público en general comenzó a utilizar los servicios de telefonía móvil.

Con el antecedente de los múltiples estándares inalámbricos de segunda generación (2G), basados en acceso múltiple por división de código (CDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y otras tecnologías, así como sus limitaciones para interactuar globalmente, una nuevo conjunto de estándares de tercera generación (3G) para acceso inalámbrico ha sido iniciado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) llamado IMT-2000. [Rao et al, 2000] La visión de las tecnologías de 3G están basados en servicios inalámbricos que integran multimedia, intercambio de paquetes de datos y radio de banda ancha con alta eficiencia espectral

más que las existentes en 2G. Además, los estándares de 3G permitirían un roaming global con terminales o dispositivos simples.

La UIT originalmente quería un solo estándar global, pero esto no ha sido posible. En vez de ello, existen dos tipos principales basados en CDMA, y un tercero basado en TDMA. La principal razón por la disputa es la compatibilidad con los sistemas existentes, los cuales pueden ser definidos de tres maneras:

- *Actualización directa.* Los operadores actuales que no tengan la posibilidad de adquirir alguna licencia para el nuevo espectro, necesitan desarrollar un sistema que sea esencialmente sólo una mejora de lo que actualmente tienen, con el fin de que los nuevos teléfonos trabajen con las radiobases anteriores y viceversa. La actualización típicamente añade intercambio de paquetes y una mejor modulación, pero mantiene los tamaños de celdas y estructura de canal existentes. Esto limita las opciones de los operadores sustancialmente. En particular, la mayoría de los sistemas de 2G están basados en TDMA, entonces, una actualización directa necesita mantener la estructura de TDMA.
- *Roaming.* En principio, una terminal móvil puede estar hecha para soportar cualquier número de sistemas diferentes, permitiéndoles ser utilizadas alrededor del mundo. Es así como la ITU puede llamar a IMT-2000 un estándar: incluye múltiples modos de operación, cada uno representando un sistema de 3G diferente. Algunos teléfonos pueden soportar todos los sistemas de IMT-2000, pero será probablemente el primero y el más barato en el que se base.
- *Handover.* El roaming es un inconveniente para la mayoría de los usuarios, ya que los teléfonos tienen que ser reiniciados para usar una red diferente. Para hacerlo más fácil, un sistema de 3G puede ser construido para que se realice un handover a los usuarios a una red de 2G mientras se mueven fuera de su área de cobertura. El usuario no debe notar ninguna diferencia, a menos que se esté accediendo a un servicio de 3G, como multimedia, que no está disponible bajo 2G. Esto pone algunas barreras en el diseño de 3G y significa que los teléfonos tienen que poder operar tanto en 2G como en 3G a la vez.

El problema fundamental para IMT-2000 es que ningún estándar podría actualizar CDMAone y handover a GSM. Esto significa que dos estándares muy similares de IMT-2000 basados en CDMA tienen que ser desarrollados dependiendo del sistema local actual de 2G.

En un artículo publicado en Agosto 2002 por el Foro UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), llamado "Evolution to 3G/UMTS Services" se menciona que la UIT incluye cinco tecnologías de acceso en la "familia de estándares", de las cuales EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), W-CDMA (Wideband CDMA), y hasta cierto punto, cdma2000, se han ganado el apoyo por parte de los proveedores de equipo y operadores de red móvil, por lo que son las tecnologías que se pretenden implementar.

Por otro lado, tal como lo menciona la ITU, el espectro es asignado y manejado en forma diferente alrededor del mundo. El método de asignación de espectro puede variar desde una subasta al mejor postor (como funciona aquí en México a través de la COFETEL) hasta una simple distribución. El número óptimo de operadores inalámbricos en un país en un mercado particular, depende de la combinación de las políticas regulatorias del país y de las condiciones del mercado. Como comenta Holma, de acuerdo a las recomendaciones de la UIT, los países deben asignar las mismas frecuencias a los servicios de 3G, con lo cual se permitirá un roaming global sencillo, particularmente si todos utilizan el mismo estándar de IMT-2000, de esta manera, y pensando en el usuario, éste podría estar seguro que su unidad móvil trabajaría correctamente no importando el lugar o país en que se encuentre.

Particularmente, tal como lo menciona Rao, en su artículo del año 1999 sobre la asignación de frecuencias en la India, la UIT, en su Conferencia Mundial de Radiocomunicación Administrativa (WARC) de 1992, identificó 230 MHz de espectro que debiera ser utilizado como base alrededor del mundo por los administradores para implementar los sistemas de IMT-2000, específicamente de la siguiente forma:

- Enlace de Subida (Uplink): 1885-2025 MHz (1980-2010 MHz para servicios móviles satelitales).
- Enlace de Bajada (Downlink): 2110-2200 MHz (2170-2200 MHz para servicios móviles satelitales).

Sin embargo, Pandya menciona, que de acuerdo las prácticas existentes, la asignación actual, la utilización y administración del espectro de frecuencias designado

para servicios terrestres, es un problema que enfrentan ciertos países, pues en ellos, la parte baja de la banda de IMT-2000 (1885-2025MHz) está siendo utilizada por los sistemas de 2G y PCS (Servicios de Comunicación Personal).

Por ejemplo, en México, “Las bandas 1 885 – 2 025 MHz y 2 110 – 2 200 MHz están destinadas a su utilización, a nivel mundial, por las administraciones que desean introducir las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000)”, tal como se encuentra expresado en el cuadro nacional de atribución de frecuencias de la COFETEL, haciendo la aclaración de que existen servicios utilizando dichas bandas tales como PCS, pero que no han sido asignadas oficialmente para IMT-2000.

De la misma forma, en la Conferencia Mundial de Radiocomunicación del año 2000 (WRC2000), y debido a las necesidades de los sistemas de 3G de integrar voz, video, sonido y datos, se hizo un requerimiento de 160 MHz adicionales a los 230MHz requeridos anteriormente, llegando a los siguientes resultados:

- Protección de las Bandas Principales existentes para IMT-2000
- Una banda identificada en 2500-2690 MHz para IMT-2000 en las tres regiones de la ITU ( ésta banda esta siendo la banda de expansión principal en Europa y Asia)
- Una banda también identificada para IMT-2000 en 1710-1885 MHz (ésta es la banda preferida por los países de la CITELE , Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, dicha banda también permitirá una evolución de GSM1800 a IMT2000)
- Las bandas celulares de 1G y 2G (dentro de 806-960 MHz utilizada por ejemplo en Estados Unidos para los celulares y también por sistemas GSM), identificadas para la migración a IMT-2000.

El mismo problema con respecto al espectro necesario se presenta en Estados Unidos, donde se han realizado estudios sobre cuál debería ser la asignación de espectro correcta para los servicios de 3G. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de aquel país, en septiembre del 2001, añadió una asignación para servicios móviles en la banda de 2500-2600 MHz , para proveer una flexibilidad adicional a corto y largo plazo para el uso de este espectro para hacerlo potencialmente disponible para los servicios inalámbricos móviles avanzados, incluyendo 3G y futuras generaciones de sistemas

inalámbricos. Sin embargo, debido a que dicha banda de 2500-2690 MHz está actualmente siendo utilizada por los poseedores de licencias de Servicios Fijos de Televisión Educativa y por Servicios de Distribución Multicanal Multipunto, y con el fin de preservar la viabilidad de los servicios poseedores, la Comisión no reubicó ni modificó las licencias existentes.

Desde luego, México no puede estar alejado de la problemática con respecto a la correcta asignación del espectro necesario para los servicios de 3G, y es necesario que se analicen las características técnicas y naturales de los servicios planeados para 3G, las bandas propuestas por la ITU, el uso actual y planeado de las bandas que están asignadas actualmente en México, las necesidades de espectro, las oportunidades potenciales para compartir el espectro entre los servicios de 3G y los actuales poseedores del espectro, así como del impacto potencial que se tendría sobre éstos últimos al segmentar dicha banda para proveer un espectro separado tanto para servicios 3G y servicios actuales.

### **1.3. Objetivo**

Analizar las características técnicas y naturales de los servicios planeados para 3G, las bandas propuestas por la ITU, el uso actual y planeado de las bandas que están asignadas actualmente en México, las oportunidades potenciales para compartir el espectro entre los servicios de 3G y los actuales poseedores del espectro, así como del impacto potencial que se tendría sobre éstos últimos al segmentar dicha banda para proveer un espectro separado tanto para servicios 3G y servicios actuales, con el fin de tener una base para la asignación correcta del espectro radioeléctrico en México para la implementación de las tecnologías de tercera generación (3G), de acuerdo a las necesidades de espectro a futuro.

### **1.4. Restricciones**

- El espectro a estudiar es el de México.
- Las bandas de frecuencia a analizar son las propuestas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

## **1.5. Metodología y Métodos**

Para el desarrollo de la tesis, se utilizan métodos cualitativos ya que la asignación de frecuencias no ha sido realizada en nuestro país y porque el objetivo de esta tesis es tener una base para su correcta asignación para la implementación de tecnologías de tercera generación. Por lo que será necesario analizar la situación actual del espectro radioeléctrico en nuestro país y las circunstancias tanto técnicas como económicas que se tendrían al asignar las bandas de frecuencia. Los métodos que permiten estudiar y analizar dichas necesidades son:

Casos documentados bibliográficamente. Este método es de gran ayuda para analizar algunos casos existentes en otros países, los cuales han asignado diferentes bandas de frecuencia según sus propias necesidades.

Metodologías utilizadas por organismos Internacionales. El seguimiento de estas metodologías permiten tener resultados confiables para determinar las necesidades de cada región.

## **1.6. Instrumentación**

Los instrumentos necesarios para realizar adecuadamente la tesis son:

- *Fuentes bibliográficas:* como lo son los libros, artículos publicados en revistas, en internet, biblioteca digital etc, que tengan que ver con el tema en cuestión.
- *PC con software procesador de texto y con acceso a Internet:* ya que es una herramienta muy útil para almacenar y procesar la información obtenida tanto de las fuentes como de la red.
- *Correo electrónico:* para la comunicación entre el tesista y su asesor, y con las diferentes personas que podrían ser entrevistados.

## **1.7. Producto Final**

Al finalizar el proyecto de tesis, se contará con las bases adecuadas para la correcta asignación del espectro radioeléctrico a las tecnologías de tercera generación, en base al análisis de las recomendaciones de las instituciones internacionales y bajo las

condiciones actuales en México, considerando también los aspectos técnicos y las necesidades de espectro en nuestro país.

### **1.8. Contribución Esperada**

Con el presente proyecto espero contribuir con:

- Identificación de las necesidades de espectro en nuestro país.
- Sugerencias para la correcta distribución del espectro radioeléctrico en México.
- Prevención de una correcta evolución de los sistemas de 2G a 3G.

## **Capítulo 2. Introducción a los Sistemas de Tercera Generación (3G)**

En la actualidad, existen grandes cambios que se están llevando a cabo en el campo de las tecnologías móviles, en donde el mundo entero se dirige hacia los servicios de tercera generación (3G). Muchas preguntas surgen con respecto al concepto de 3G, no sólo en términos de qué significa y qué servicios ofrecerá, sino también en términos de cómo llegar ahí, qué estándar será el dominante, qué ruta de migración deben seguir los actuales operadores de 2G, etc. En este capítulo se tratará de responder a esas preguntas ofreciendo un panorama de la evolución de los sistemas celulares a través del tiempo, mostrando algunos datos interesantes de cada uno de ellos alrededor del mundo y de nuestro país.

### **2.1. Generaciones de las Redes Móviles**

#### **2.1.1. Primera Generación**

La primera generación de los sistemas móviles celulares apareció en los años de 1980, sin embargo, no fue el inicio de las comunicaciones móviles, ya que las redes comerciales de telefonía móvil existían desde los años de 1940 [Andersson,2001], pero no eran sistemas celulares y su capacidad era muy baja.

En las redes móviles celulares, el área de cobertura es dividida en pequeñas células, por lo que las mismas frecuencias pueden ser utilizadas muchas veces en la red sin causar interferencia. Esta característica aumenta la capacidad del sistema. La primera generación utilizó técnicas analógicas para la transmisión del tráfico, el cual consistía completamente de voz. Los estándares más exitosos fueron el Nordic Mobile Telephone (NMT), Total Access Communications System (TACS) y Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Otros estándares fueron desarrollados pero utilizados en un solo país, como el C-Netz en Alemania del Oeste y Radiocom 2000 en Francia. Cabe señalar que la característica más importante de esta generación es que únicamente se podía transmitir voz de una forma analógica.

NMT fue inicialmente utilizado en Escandinavia y adoptado en algunos países del centro y sur de Europa. El sistema tenía dos variaciones: NMT-450 y NMT-900, que operaban en las frecuencias de 450 MHz y 900 MHz respectivamente. NMT ofrecía la posibilidad de un roaming internacional a través de Europa, aún en la década de los años de 1990 se instalaron algunas redes NMT-450 en países del Este de dicho continente. Por su parte el Reino Unido también creó su propio estándar (TACS), el cual fue adoptado por algunos países del Medio Oriente y sur de Europa. Esta basado en el protocolo de AMPS, pero utiliza la banda de 900 MHz.

AMPS es un estándar de los Estados Unidos que utiliza la banda de los 800 MHz y que es utilizado en muchos países de América y del Lejano Oriente, incluyendo Australia y Nueva Zelanda. De igual forma, en nuestro país se adoptó este estándar, y los servicios de telefonía celular comenzaron a ofrecerse en 1989, cuando la Secretaría de Comunicaciones y Transportes autorizó la introducción de estos servicios en México [Telcel, 2003].

Cabe señalar que a pesar de que hoy en día se piensa en cómo migrar a los sistemas de 3G, estas redes de primera generación están todavía siendo utilizadas. Algunos países están aún implementando nuevas redes de primera generación y muchas de las existentes siguen creciendo. Sin embargo, en países con infraestructura de telecomunicaciones más avanzada, estos sistemas de primera generación desaparecerán muy pronto, debido al desperdicio de espectro de frecuencias que podría ser utilizado de una forma más efectiva en redes digitales [Korhonen, 2001]. Actualmente en el mundo existen alrededor de 16 millones de abonados analógicos, pero se espera que dicha cantidad se reduzca a los 12 millones durante los próximos tres años [EMC WCD, 2003].

### **2.1.2. Segunda Generación**

Los sistemas celulares móviles de segunda generación utilizan transmisión digital, por lo que el límite entre los sistemas de primera y segunda generación es el brinco de analógico a digital. Estos sistemas tienen una capacidad mucho mayor, ya que un canal de frecuencia es dividido simultáneamente entre muchos usuarios (ya sea por división de código o de tiempo), así mismo las estructuras jerárquicas de las células (macro, micro y pico células) mejoran la capacidad del sistema aún más.

Existen cuatro estándares principales para los sistemas de segunda generación: Global System for Mobile (GSM) communications y sus derivados, Digital AMPS (D-AMPS), Code Division Multiple Acces (CDMA, IS-95) y Personal Digital Cellular (PDC), los cuales describiremos brevemente a continuación.

#### **2.1.2.1. Global System for Global Communications (GSM)**

GSM es el sistema 2G más exitoso y más utilizado alrededor del mundo. Originalmente fue diseñado como un estándar Pan-Europeo, y pronto fue adoptado en todo el mundo. Sólo en el continente americano no ha alcanzado una posición dominante, sin embargo este sistema ha empezado a crecer e implementarse en muchos países americanos.

El sistema GSM básico, utiliza la banda de los 900 MHz, pero a su vez existen dos variaciones, el Sistema Digital Celular 1,800 (DCS-1800 o GSM-1800) y los Sistemas de Comunicación Personal 1900 o GSM-1900, siendo éste último utilizado sólo en América. Una de las principales razones para utilizar una banda de frecuencia diferente fue la falta de capacidad en la banda de los 900 MHz, mientras que en la banda de 1,800 MHz se puede acomodar un número mayor de usuarios, y esto es un factor muy importante especialmente en áreas con una densidad de población grande. Sin embargo, el área de cobertura es menor que en las redes de 900 MHz, por lo que se utilizan unidades móviles de dos bandas para operar en cualquiera de los sistemas dependiendo de la disponibilidad de cada uno de ellos.

Una característica de GSM, que le dio una gran popularidad y lo ayudó a ser exitoso, es el Servicio de Mensajes Cortos (SMS). SMS es un servicio bidireccional para enviar mensajes alfanuméricos cortos, ya sea punto a punto (teléfono a teléfono) o en modo de punto a multipunto (*broadcast*).

#### **2.1.2.2. Digital-AMPS (D-AMPS)**

D-AMPS, también conocido como US-TDMA (United States-Time Division Multiple Acces) es utilizado en América, Israel y algunos países de Asia. Este sistema es compatible con su antecesor AMPS, sin embargo éste último utiliza un canal de control analógico, mientras que US-TDMA utiliza un canal de control digital (DCCH). Una de las

ventajas con US-TDMA es que las unidades móviles pueden conmutar entre una operación analógica a una digital y viceversa [Selian, 2001]. Este sistema fue inicialmente definido como el estándar IS-54, pero después evolucionó a TIA/EIA-136-C. Junto con GSM están basados en el esquema de TDMA, en el cual varios usuarios comparten un mismo canal mediante la asignación de ranuras de tiempo de la trama de datos.

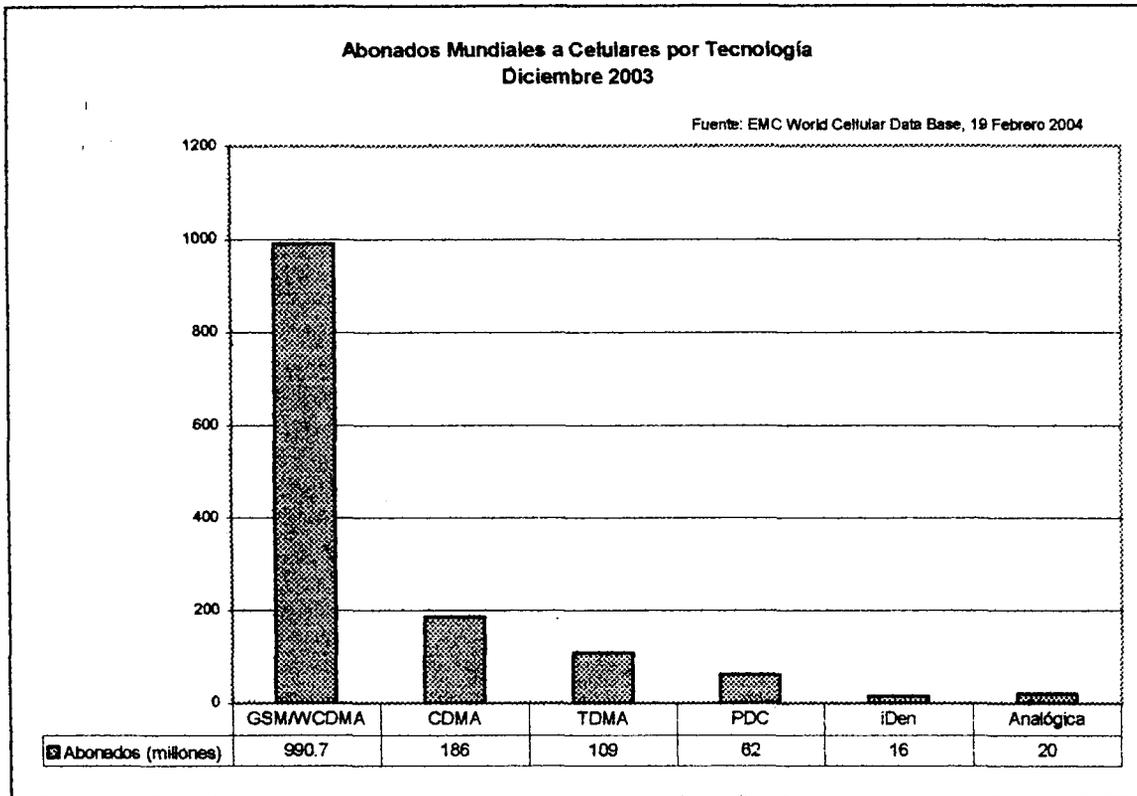
#### **2.1.2.3. Code Division Multiple Access (CDMA, IS-95)**

Por otro lado, CDMA, específicamente el estándar IS-95 desarrollado por Qualcomm a mediados de los años de 1990, utiliza un diseño diferente para su interfaz aérea, ya que en lugar de dividir la frecuencia de la portadora en pequeñas ranuras de tiempo como en TDMA, utiliza técnicas de codificación digital y de espectro extendido para permitir a varios usuarios compartir el mismo canal, diferenciando sus señales a través del código asignado. CDMA incrementa la capacidad del sistema entre 10 y 15 veces comparado con AMPS, y por más de 3 veces comparado con TDMA, por lo que la industria reconoce a CDMA como una tecnología superior comparada con la utilizada en GSM/TDMA, sin embargo no es la más utilizada en el mundo ya que no ofrece un roaming internacional como GSM.

#### **2.1.2.4. Personal Digital Cellular (PDC)**

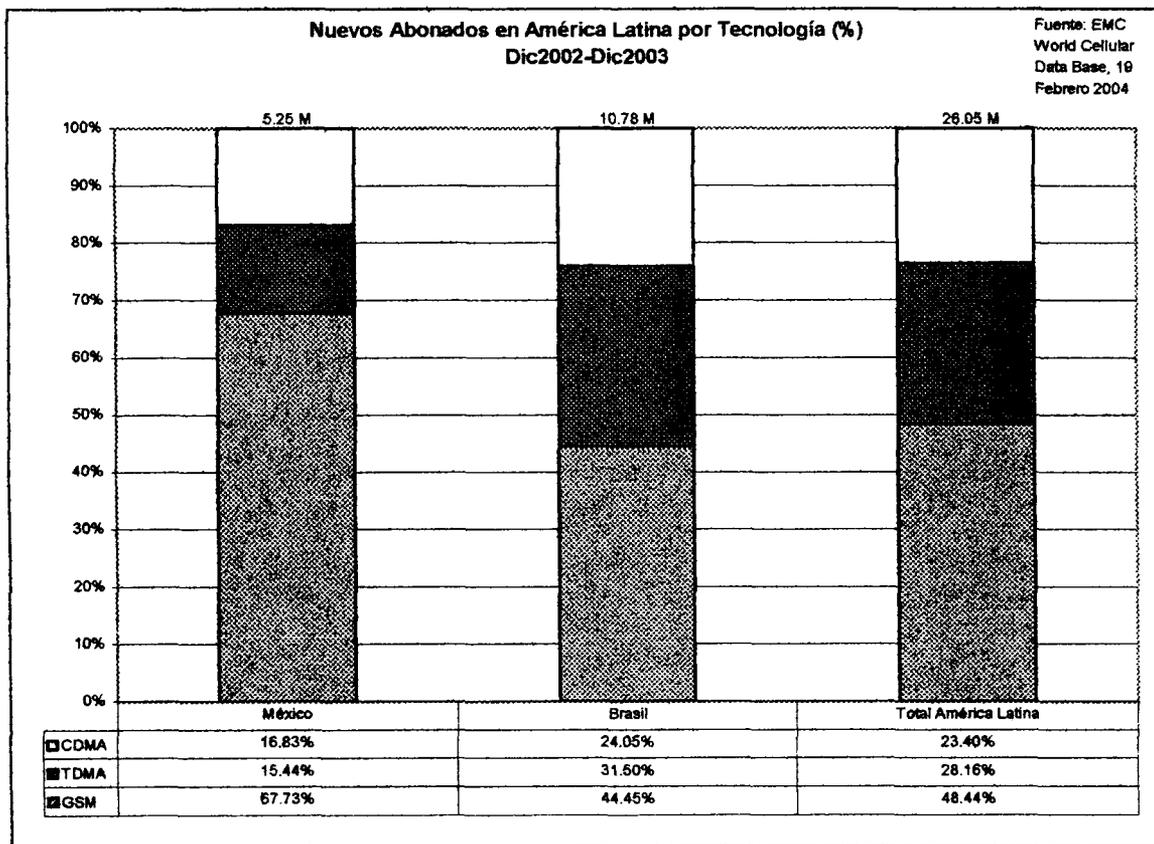
PDC es el estándar de segunda generación de Japón, anteriormente se le conocía como JDC (Japanese Digital Cellular), pero debido a su interés para dar a conocer el sistema fuera de dicho país, se le cambió el nombre a Personal Digital Cellular. Sin embargo la estrategia no trajo los resultados obtenidos ya que no hubo interés por parte de otros países y el sistema sólo se utiliza en Japón. La especificación es conocida como RCR STD-27, el sistema opera en dos bandas de frecuencia distintas: 800 MHz y 1500 MHz y lo hace tanto en modo análogo como en digital.

De los sistemas mencionados anteriormente, sin duda el más exitoso a nivel mundial es GSM, ya que actualmente cuanta con más de 990.7 millones de abonados alrededor del mundo [EMC WCD, 2004]. La figura 2.1. muestra a los abonados mundiales celulares por tecnología:



**Figura 2.1. Abonados mundiales por tecnología de 2G**

En México, inicialmente se ofrecieron los servicios tanto de CDMA por la empresa Unefón y lusacell, así como de D-AMPS por la empresa Telcel. Recientemente, dado el éxito y los beneficios que GSM trae consigo (economías de escala y antecedentes en investigación y desarrollo), así como las necesidades de migración hacia 3G, el sistema GSM fue introducido por Telcel y por Telefónica Movistar, logrando una gran aceptación por parte de los usuarios como lo muestra la figura 2.2., en donde se muestra el porcentaje de nuevos abonados para las diferentes tecnologías durante el presente año en América Latina:



**Figura 2.2. Nuevos Abonados en América Latina por Tecnología de 2G**

### 2.1.3. Segunda Generación Avanzada (2.5 G)

El término de Generación 2.5 es utilizado para referirse a aquellos sistemas que se han actualizado y mejorado respecto a las redes de segunda generación. Dichas actualizaciones proveen casi las mismas capacidades planeadas para los sistemas de Tercera Generación (3G). Sin embargo es difícil decir, en un sentido técnico, cuándo un sistema de 2G llega a ser un sistema de 2.5G

Generalmente, un sistema GSM de 2.5G incluye una o todas las siguientes tecnologías: High Speed Circuit Switched Data (HSCSD), General Packet Radio Services (GPRS), y Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

### **2.1.3.1. High Speed Circuit Switched Data (HSCSD)**

HSCSD es la forma más fácil de proveer una velocidad de conexión mayor. Esto significa que en lugar de utilizar sólo una ranura de tiempo, una estación móvil puede utilizar varias ranuras para una conexión de datos. En las actuales implementaciones comerciales, el máximo número de ranuras que se pueden utilizar son 4. Una sola ranura de tiempo puede generar velocidades de 9.6 Kbps o 14.4 Kbps. Esta es relativamente una forma barata de actualizar las capacidades de datos y sólo requiere actualizaciones en software de la red, así como equipos móviles que soporten HSCSD. Sin embargo también tiene sus desventajas, el principal problema tiene que ver con el uso del escaso recurso de espectro, ya que el sistema utiliza conmutación por circuito por lo que HSCSD asigna totalmente las ranuras de tiempo aún cuando no se esté transmitiendo nada.

### **2.1.3.2. General Packet Radio Services (GPRS)**

Otra manera de aumentar las capacidades de las redes de segunda generación es implementando GPRS. Con esta tecnología las razones de transmisión pueden ser de hasta 115 Kbps o más si se eliminan las técnicas de corrección de errores. Pero lo más importante de este sistema, contrastando con HSCSD, es que utiliza conmutación de paquetes, por lo que asigna los recursos sólo cuando haya algo que transmitir. GPRS es adecuado para aplicaciones que no sean en tiempo real, como el correo electrónico y navegación en la Web.

La implementación de un sistema GPRS es mucho más cara que HSCSD ya que la red requiere de nuevos componentes así como la modificación de los existentes, sin embargo esto es necesario para mejorar las capacidades de transmisión de datos, además es un paso importante hacia los sistemas de 3G, ya que dichas redes estarán basadas en redes combinadas de GSM y GPRS.

### **2.1.3.3. Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).**

La tercera mejora de la generación 2.5 es EDGE, en donde la característica que lo distingue es el esquema de modulación 8PSK, el cual aumenta tres veces la velocidad de datos comparado con GSM, este esquema de modulación no reemplaza pero sí puede coexistir con la modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), por lo que los

móviles que no estén actualizados pueden seguir funcionando en caso de que los usuarios no requieran una mejor calidad de servicio en la transmisión de datos proveída por EDGE. Además es necesario mantener la modulación GMSK ya que 8PSK solamente funciona de manera eficiente para distancias cortas.

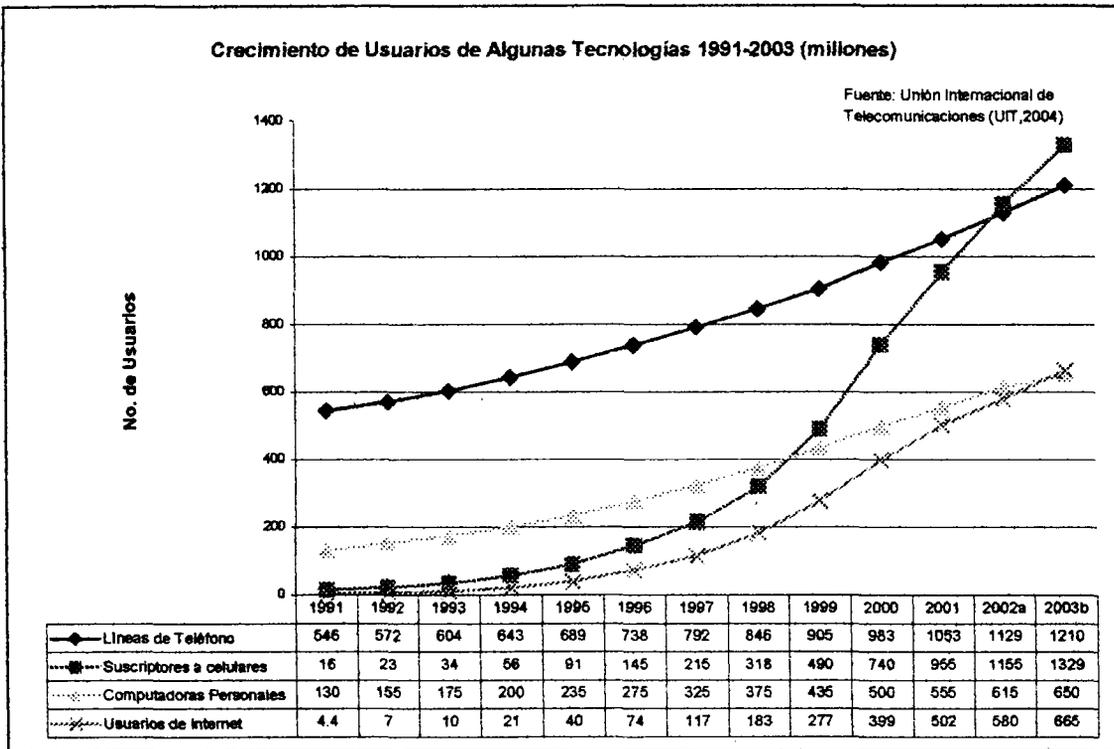
Por otro lado, si EDGE se utiliza junto con GPRS, a lo cual se le denomina GPRS mejorado (E-GPRS), la máxima velocidad que se tiene es de 384 kbps utilizando 8 ranuras de tiempo, es decir, se requeriría utilizar todos los recursos de una portadora y sólo es posible cuando la unidad móvil esta cerca de la radio base.

De igual forma, además de GSM, los otros sistemas de segunda generación también requieren de una actualización, por ejemplo IS-136 (TDMA) puede hacerlo utilizando EDGE, y lo más sorprendente es que su implementación es más rápida que en un sistema GSM, de igual forma también puede implementarse GPRS.

El sistema IS-95 (CDMA) provee velocidades de 14.4 Kbps, y puede ser actualizado a IS-95B, con velocidades de 64 Kbps. La siguientes versión de la especificación sería IS-95C con velocidades de 144 Kbps. En cualquier caso, CDMA está por detrás de GSM en cuanto a transmisión de datos de alta velocidad se refiere.

#### **2.1.4. Tercera Generación**

El rápido desarrollo de las telecomunicaciones móviles fue una de las historias más exitosas de los años 1990 (Ver Figura 2.3). Las redes de segunda generación comenzaron sus operaciones a principios de dicha década, y desde entonces se han ido expandiendo y evolucionado continuamente. De esta manera, y como parte de dicha evolución, se busca que los sistemas actuales evolucionen de una manera correcta al siguiente paso que es la tercera generación (3G).



**Figura 2.3. Evolución de las tecnologías (crecimiento)**

La necesidad de una evolución hacia estos sistemas también tiene que ver con el Internet, ya que ha tenido un crecimiento impresionante en las redes alámbricas permitiendo una conectividad global, de esta manera se espera que suceda lo mismo en las redes móviles. Hasta hace poco el Internet y las comunicaciones móviles habían crecido por separado, sin embargo, hoy en día uno de los retos de la tercera generación es que ambos evolucionen conjuntamente, ofreciendo los mismos servicios de Internet a través de las redes móviles [Harmer, 2001].

Básicamente los sistemas de tercera generación tienen las siguientes características:

- Alto grado de diseño común alrededor del mundo.
- Compatibilidad de servicios dentro de las redes móviles y fijas.
- Alta calidad.
- Uso de terminales móviles con capacidad de roaming mundial.

- Capacidad para aplicaciones multimedia, y un rango amplio de servicios y terminales.

De igual forma, los servicios y capacidades clave de los sistemas de 3G son:

- Capacidades para soportar circuitos y paquetes de datos a grandes velocidades de bit:
  - 144 kbps o mayor para tráfico de gran movilidad (vehicular).
  - 384 kbps o mayor para tráfico pedestre.
  - 2 Mbps o mayor para tráfico interior (indoor).
- Interoperabilidad y roaming entre los estándares de IMT-2000<sup>1</sup>.
- Sistemas comunes de perfil de facturación:
  - Compartición de información de uso/razón entre proveedores de servicio
  - Registro estandarizado de detalle de llamada
  - Perfiles Estandarizados de usuario.
- Capacidad para determinar la posición geográfica de los móviles y reportarlo tanto a la red como a la terminal móvil.
- Soporte de servicios/capacidades multimedia:
  - Razón variable y fija de tráfico de bit.
  - Ancho de banda en base a la demanda
  - Razones de datos asimétricos en el enlace de subida y de bajada.
  - Almacenamiento y envío de correo multimedia.
  - Acceso mayor a 2 Mb/S.

Para tener todas las características anteriores, es necesaria la existencia de un estándar global que permita un correcto funcionamiento de las redes de 3G a nivel mundial. A partir de esa necesidad surge IMT-2000.

---

<sup>1</sup> Ver sección IMT-2000

### 2.1.4.1. IMT-2000

International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) es el estándar global para las comunicaciones inalámbricas de tercera generación (3G), definido por un conjunto de recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). IMT-2000 provee una estructura para el acceso inalámbrico mundial enlazando los diferentes sistemas de redes terrestres y satelitales [UIT,2003]. Las capacidades de este estándar incluyen un amplio rango de servicios de voz, de datos y multimedia con una calidad igual o mejor que las redes de telecomunicaciones fijas en diferentes ambientes de radio. El objetivo de IMT-2000 es proveer una cobertura universal que permita a los equipos móviles tener el mismo roaming a través de múltiples redes [Garg, 2002].

#### 2.1.4.1.1 Interfaces de Radio Terrestres IMT-2000

La UIT ha aprobado una serie de recomendaciones técnicas o estándares que definen las características principales de los sistemas de IMT-2000. Dichos estándares surgen con el fin de minimizar el número de interfaces de radio diferentes, maximizar sus características comunes y proveer un camino de transición hacia 3G a las tecnologías de primera (1G) y segunda generación (2G). De todas las interfaces propuestas, son cinco las principales interfaces de radio recomendadas por la UIT para 3G como lo muestra la figura 2.4.:

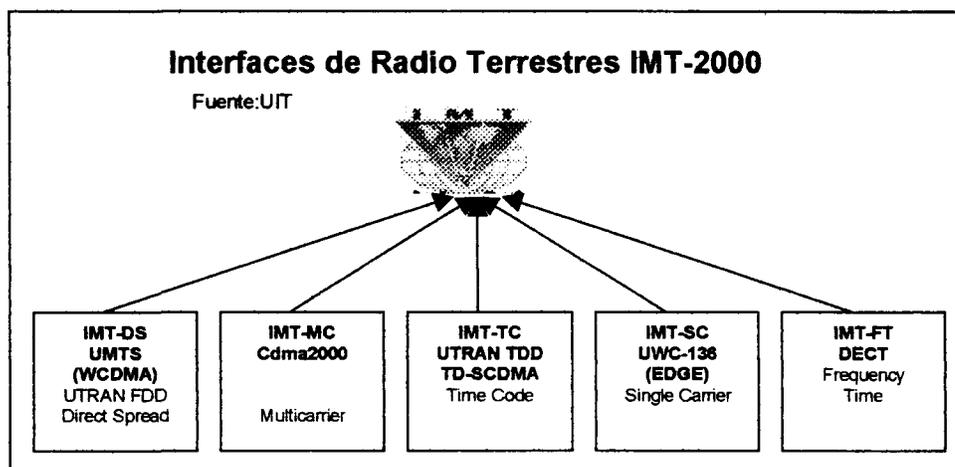


Figura 2.4. Interfaces de Radio Terrestres IMT-2000.

- *IMT-DS (Direct Spread)*, también conocido como *Wideband CDMA* o *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)*. Esta interfaz requiere de operaciones FDD (Frequency Division Duplex), es decir, que se necesitan segmentos de espectro apareados para los enlaces de subida y bajada. El esquema de acceso es de CDMA de secuencia directa donde la información es extendida sobre un ancho de banda de 5 MHz con una razón de chip de 3.84 Mcps. Utiliza una modulación QPSK.
- *IMT-MC (Multi-carrier)* o *cdma2000*. También opera en el modo FDD. La interfaz de radio es un sistema de espectro extendido de banda amplia que utiliza la tecnología de acceso CDMA y provee una evolución hacia 3G a los sistemas que actualmente utilizan la familia de estándares de la TIA/EIA-95-B. Los anchos de banda de los canales de RF pueden ser de 1.25 MHz, 3.75 MHz y hasta de 15 MHz para especificaciones futuras.
- *IMT-TC (Time Code)* o *UTRA TDD (Universal Terrestrial Radio Acces Time Division Duplex)*. Esta interfaz de radio utiliza un esquema de acceso CDMA. Existen dos versiones, UTRA TDD, que utiliza un ancho de banda de 5 MHz y una razón de chip de 3.84 Mcps, y TD-SCDMA que utiliza un ancho de banda de 1.6MHz con una razón de chip de 1.28 Mcps. Los sistemas de TDD pueden operar en segmentos de espectro no apareado. Las especificaciones de este estándar fueron desarrollados para ser comunes con las de UMTS FDD.
- *IMT-SC (Single Carrier)* o *EDGE*. Esta interfaz de radio también es llamada Comunicación Inalámbrica Universal-136 (UWC-136) y es un sistema FDD. Fue desarrollado con el objetivo de maximizar las características comunes entre los sistemas basados en TDMA, los cuales son D-AMPS o TIA/EIS-136 y GSM GPRS. Así mismo, se desarrolló con el objetivo de proveer una evolución de la tecnología TIA/EIS-136 hacia 3G. Esto es posible mejorando las capacidades de voz y de datos de los canales de 30 KHz, añadiendo una portadora de 200 KHz para mayor velocidad de datos (384 Kbps) en aplicaciones con gran movilidad, y añadiendo una portadora de 1.6 MHz para velocidades de datos muy altas (2 Mbps) para aplicaciones de baja movilidad.
- *IMT-FT (Frequency Time)* o *DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)*. Esta interfaz está definida por un conjunto de estándares

del Instituto Europeo de Estándares Técnicos (ETSI), y no ha llamado la atención de los operadores para ser implementada.

De los estándares anteriores, WCDMA y CDMA2000, son los que han cobrado mayor importancia para los operadores alrededor del mundo, así mismo son desarrollados por los organismos 3GPP (Third Generation Partnership Project) y 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) respectivamente. A continuación se presenta una descripción de estos organismos y los sistemas que desarrollan.

#### **2.1.4.2. 3GPP**

3GPP es un consorcio que desarrolla las especificaciones para los sistemas de 3G basados en la interfaz de radio WCDMA y en las redes GSM. Los organismos que conforman este grupo incluyen a ETSI (Instituto Europeo de Estándares Técnicos), ARIB (Asociación de Industrias y Negocios de Radio) de Japón, T1 (Comité de Estándares de Telecomunicaciones T1) de Estados Unidos, TTA (Asociación de las Tecnologías de Telecomunicaciones) de Korea y el CWTS (Estándar de Telecomunicaciones Inalámbricas de China).

El sistema WCDMA tiene dos modos de operación, FDD y TDD. En el modo FDD el enlace de subida y de bajada utilizan bandas de frecuencia separadas. Estas portadoras tienen un ancho de banda de 5 MHz, cada una es dividida en tramas de 10 ms y a su vez cada trama es dividida en 15 ranuras de tiempo. La razón de chip de WCDMA es de 3.84 Mcps. Cabe señalar que un chip es un bit en una palabra de código, que es utilizada para modular la señal de información. Esto significa que cada segundo, 3.84 millones de chips son enviados por la interfaz de radio, sin embargo, el número de bits de datos transmitidos durante el mismo periodo de tiempo es mucho menor. La razón entre la razón de chip y la razón de bit de datos es llamado *factor de esparcimiento*. En teoría, se podría tener un factor de esparcimiento de uno, esto es, sin esparcimiento. Cada chip sería utilizado para transferir un bit de datos. Sin embargo, no podría haber otro usuario utilizando la misma portadora de frecuencia, y más aún se perderían muchas de las propiedades del esquema de esparcimiento de banda ancha. En principio, el factor de esparcimiento indica qué tan grande es el ancho de banda común asignado al usuario. Por ejemplo, una portadora podría acomodar hasta 16 usuarios, cada uno teniendo un

canal con un factor de esparcimiento de 16. Los factores de esparcimiento utilizados en WCDMA pueden variar entre 4 y 512. Una secuencia de chips utilizados para modular los bits de datos es llamado el código de esparcimiento, donde a cada usuario se le asigna un código de esparcimiento único.

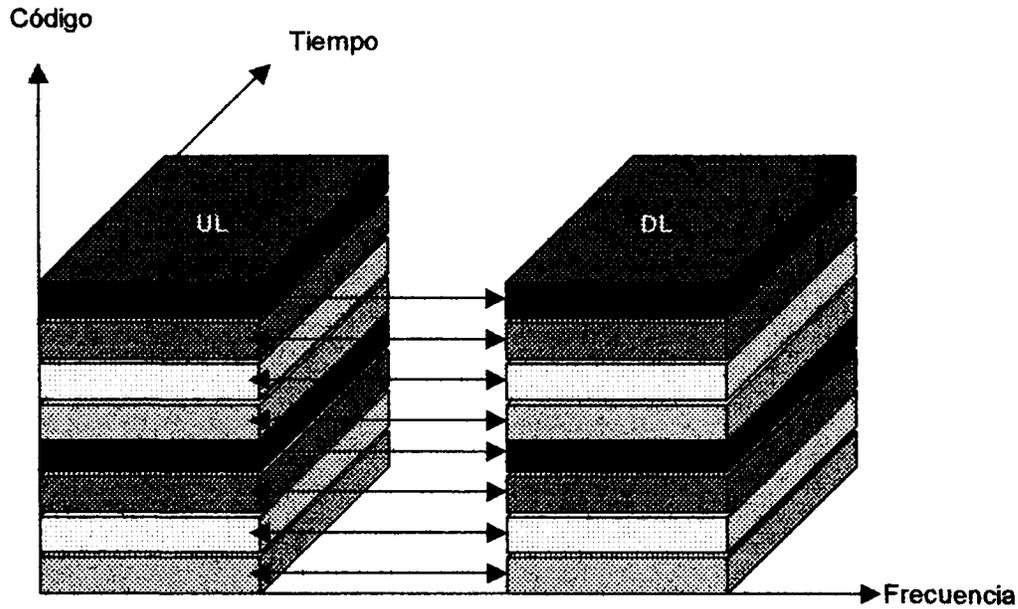


Figura 2.5. Modo de Operación FDD

El modo TDD difiere del modo FDD en que tanto el enlace de subida como el de bajada utilizan la misma frecuencia portadora. Las 15 ranuras de tiempo en una trama pueden ser asignadas dinámicamente entre las direcciones de los enlaces de subida y de bajada, por lo que la capacidad del canal de estos enlaces puede variar. La razón de chip del modo normal TDD es también de 3.84 Mcps, pero existe también una versión de "banda angosta" de TDD conocida como TD-SCDMA, donde el ancho de banda de la portadora es de 1.6 MHz y la razón de chip de 1.28 Mcps.

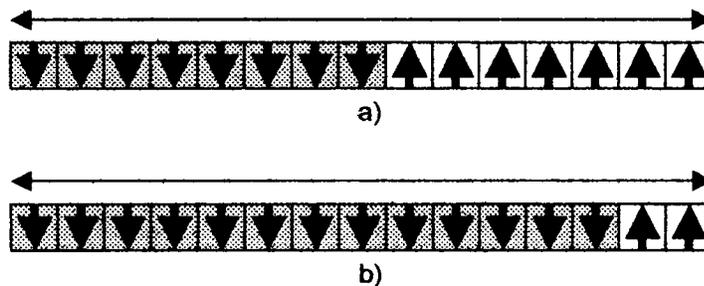


Figura 2.6. Ejemplos de configuración de la trama TDD

WCDMA incluye tres tipos de concepto de canal. Un canal físico que existe en la interfaz de aire y que está definido por una frecuencia y un código de esparcimiento (en el modo TDD, además, por una ranura de tiempo). El concepto de canal de transporte es utilizado en la interfaz entre la capa 1 y 2, define cómo los datos son enviados sobre el aire, sobre canales dedicados o comunes. Los canales lógicos existen dentro de la capa 2 y definen el tipo de dato a enviar, ya sean datos de control o datos de usuario.

#### **2.1.4.3. 3GPP2**

El grupo 3GPP2 es otro consorcio para la estandarización de la tercera generación, que promueve el sistema CDMA2000, el cual está basado también en la tecnología WCDMA. La diferencia más grande entre los planteamientos de 3GPP y 3GPP2 dentro del desarrollo de la especificación de la interfaz aérea es que 3GPP ha especificado completamente una nueva interfaz aérea sin ninguna preocupación de las interfaces pasadas, mientras que 3GPP2 ha especificado un sistema que es compatible con el sistema de segunda generación IS-95 (CDMA), lo cual permite una transición más fácil hacia la tercera generación si es que el nuevo sistema puede coexistir con el anterior en la misma banda de frecuencia. El sistema CDMA2000 también utiliza la misma red central que IS-95, llamada IS-41.

La razón de chip en CDMA2000 no es fija como en WCDMA, sino que es múltiplo (hasta 12) de 1.2288 Mcps. Sin embargo en la primera fase de este sistema, la razón máxima es de tres veces 1.2288 Mcps (3.6864 Mcps), el cual es un valor cercano al de WCDMA.

La composición de la portadora de CDMA2000 puede ser diferente en los enlaces de subida y de bajada. Para el enlace de bajada hay dos opciones disponibles: *multiportadora* y *esparcimiento directo*. En la primera opción, varias portadoras de banda angosta (1.25 MHz) son unidas. La primera puesta de CDMA2000 utiliza tres portadoras de ese tipo y es llamado modo 3X. Estas portadoras tienen el mismo ancho de banda que las portadoras de IS-95 (CDMA) y pueden ser utilizadas en un modo superpuesto con tres de dichas portadoras. En CDMA 2000 también es posible escoger los códigos de esparcimiento por lo que son ortogonales con los códigos de IS-95. En la configuración de esparcimiento directo, todo el ancho de banda del enlace de bajada puede ser asignado a

una portadora de banda ancha de esparcimiento directo. Por ejemplo, en una banda de 5Mhz se puede acomodar una portadora de 3.75 MHz más dos bandas de guarda de 625KHz. Esta opción puede ser utilizada en el caso que un operador tenga 5 MHz de espectro disponible. En el enlace de subida, solamente se pueden utilizar portadoras de banda ancha de esparcimiento directo. El sistema CDMA2000 no utiliza enlace de subida sincronizado por lo que no puede utilizar códigos ortogonales mutuos con los sistemas IS-95. De esta forma, dividir la portadora de banda ancha en varias portadoras de banda angosta no tiene ningún beneficio. Sin embargo, las primeras implementaciones de CDMA2000 (cdma2000 1X) utilizan portadoras de banda angosta de 1.25 MHz para ambos enlaces. Esto permite a los operadores de red utilizar portadoras del estándar IS-95 para CDMA2000.

En este sistema hay dos tipos de canales, como en WCDMA, el canal físico existe en la interfaz aérea y esta definido por una frecuencia y un código de esparcimiento. Los canales lógicos existen justo arriba de los canales físicos y definen qué tipo de datos serán transmitidos sobre los canales físicos.

Los miembros del 3GPP2 incluyen a ARIB, CWTS, TIA (Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones), TTA y TTC. Aunque hay algunas características comunes en los sistemas 3GPP y 3GPP2 y forman parte de la familia de estándares de IMT-2000, técnicamente son incompatibles.

#### **2.1.4.4. Servicios y Aplicaciones de los Sistemas de 3G**

Hasta ahora, hemos hablado de las características técnicas básicas de los sistemas de 1G, 2G y 3G, sin embargo sabemos que la evolución que han tenido se debe también a los diferentes servicios y aplicaciones que cada uno puede ofrecer, los cuales son un componente importante de la competencia entre los operadores, además, los nuevos servicios para 3G requieren de una estandarización para asegurar una interoperabilidad exitosa entre las redes y los equipos móviles, de esta manera a continuación abordaremos este tema.

Los servicios básicos de comunicaciones móviles (voz y mensajes de texto) han demostrado tener un éxito masivo en la Segunda Generación. En particular, para el cliente, la facilidad de uso e interoperabilidad seguirán siendo de vital importancia. En los

servicios móviles futuros, las siguientes características deben ser tomadas en consideración: movilidad, interactividad, ubicuidad, acceso fácil, inmediatez, personalización, multimedia, en cualquier tiempo y en cualquier lugar.

El Foro de la UMTS prevé que los servicios evolucionarán dentro de tres diferentes áreas[UMTS-forum,2003]:

- *Comunicación Personal*, ya que la comunicación es la base para las telecomunicaciones y lo seguirá siendo por muchos años más. La comunicación personal entre las diferentes partes es más expresiva y mejorada con la introducción de la habilidad para enviar mensajes animados, chat y fotografías. Con las capacidades de 3G, las conversaciones por video también serán posibles.
- *Internet Inalámbrico*, sabemos que el uso del Internet es un fenómeno global, por lo que tener un acceso similar en los dispositivos móviles será de gran valor para los usuarios. Así mismo, para usuarios de negocios, se podrán tener acceso a redes privadas virtuales (VPN) basadas en IP (Internet Protocol), y por lo tanto acceso a información personal como contactos, calendario e información corporativa. Además, se podrá tener información de clima, noticias, guías locales, horarios y otro tipo de servicios que harán de la vida del usuario más fácil y más eficiente.
- *Multimedia Móvil*. Aquí se verá que las terminales móviles llegarán a ser un canal de distribución individual adicional para compañías multimedia, ofreciendo servicios con características únicas, personalizados, interactivos e inmediatos. Estos servicios incluyen música, deportes, promoción de películas, descarga de juegos, juegos en línea, etc.

De igual forma, algunos autores coinciden en que los servicios se desarrollarán en dos direcciones: servicios para negocios, y servicios personales, este último incluye a servicios para el hogar, y de entretenimiento [Ralph, 2002].

#### **2.1.4.4.1. Servicios Para Negocios**

La comunicación a través de la telefonía móvil es cada día más crítica tanto para pequeñas como para grandes empresas. Para servicios de voz, las redes de 3G permiten tener productos con una buena calidad de voz (WCDMA promete una mejor calidad que

GSM), así mismo los servicios suplementarios existentes como reenvío de llamada, llamada en espera, identificación de llamada, etc, seguirán estando disponibles pero serán mejorados para ofrecer al usuario un control multimedia, por ejemplo un control independiente de voz y video.

El incremento de capacidad y de ancho de banda de los sistemas de 3G proveerán al usuario de negocios muchos beneficios adicionales[Clapton,2001]:

- Aplicaciones de video, como video telefonía y video conferencia.
- Acceso rápido a los sistemas de la compañía, como Intranets y sistemas de correo.
- Mensajes y alto contenido multimedia, incluyendo gráficas para servicios de información como directorios, información de viajes y horarios.

A su vez, los servicios basados en localización, tales como localización de flotillas, permitirán un uso más eficiente de los recursos del negocio. La existencia de dispositivos móviles más sofisticados, con una capacidad multimedia completa, permitirá al usuario tener una sesión interactiva con los servicios y productos utilizando una interfaz amigable tal como reconocimiento y simulación de voz. Otro importante requerimiento para el usuario de negocio será la habilidad de sincronizar varios dispositivos diferentes, de forma similar, requerirá de la habilidad de administrar la configuración de los dispositivos de su compañía.

#### **2.1.4.4.2. Servicios Personales**

Algunos estudios que ha realizado el foro de UMTS demuestran que el dispositivo móvil ha llegado a ser una parte esencial en el proceso de las relaciones personales y sociales, por lo que el usuario tienen una gran relación con su equipo móvil a diferencia de con otros dispositivos. Un resultado interesante de dichos estudios es que el tamaño pequeño, la facilidad de operación y la naturaleza personal del equipo móvil es un ingrediente esencial, lo cual implica que un usuario prefiera un equipo de esas características en lugar de una computadora portátil, por lo que los servicios de 3G deben tomar en cuenta estos resultados para ser exitosos. Por ejemplo, se incluyen servicios de información tipo portal, donde la información es presentada en forma gráfica en un formato que puede mostrarse en la pantalla a color del equipo móvil. Estos servicios han

demostrado ser muy populares en Japón y están siendo extendidos a Europa y Estados Unidos.

Los mensajes de fotografías o imágenes, como parte de los servicios de mensajes multimedia (MMS), así como postales electrónicas, clips de audio, logos y texto, tendrán un efecto muy grande en el mercado, y los mensajes como clips de video evolucionarán de la transmisión de imágenes estáticas. Los servicios de información que llamarán la atención de los usuarios incluirán horarios, información de localización, guías locales, reportes de noticias, guías de teatro y cine, así como resultados de deportes (incluyendo clips de video), descarga de juegos, música, etc.

### **2.1.5. Evolución hacia los Sistemas de 3G**

Hoy en día, las preocupaciones de los operadores de los sistemas celulares se centran en la ruta que deben de seguir hacia las tecnologías de 3G en un plazo inmediato y para los próximos años. Por lo cual, tanto operadores, como las asociaciones globales y los organismos de estandarización, quienes representan y manejan la evolución de las tecnologías de 2G (GSM, TDMA-136, IS-95 y PDC) hacia 3G, han planteado o recomendado, para cada una de ellas una ruta hacia los diferentes estándares de la familia de IMT-2000 que se describieron anteriormente.

A continuación se presentan dichas rutas a seguir para cada una de las tecnologías de 2G.

#### **2.1.5.1. Evolución del Sistema GSM**

La ruta de migración para los actuales operadores de GSM es a través de las mejoras a esta tecnología por medio de GPRS y EDGE, seguida de una transición hacia WCDMA sobre un nuevo espectro. El despliegue de GPRS y EDGE puede tener lugar en las bandas de espectro de 900, 1800 y/o 1900 MHz, en las cuales GSM está implementado actualmente. La migración asume una disponibilidad de equipos terminales multimodo y multibanda que permitan la misma interoperabilidad entre GSM (incluyendo GPRS-EDGE) y WCDMA, el cual será desplegado en las bandas de espectro de 1900 y 2100 MHz.

GPRS permite a los operadores obtener la experiencia con redes que utilizan conmutación de paquetes, tarificación para el tráfico de paquetes, entrega de aplicaciones IP basadas en paquetes en la que habrá un ambiente mixto de conmutación de circuitos y paquetes.

El costo de desplegar GPRS es una fracción del costo de desplegar WCDMA, por lo que los operadores de GSM podrán integrar la infraestructura de GPRS en los futuros sistemas de WCDMA. Por otro lado EDGE está posicionado como un complemento de GPRS, el cual mejora la interfaz aérea de la red GSM al permitir velocidades de transmisión de hasta 384 kbps como vimos anteriormente por el esquema de modulación que utiliza (8PSK). Sin embargo, algunos autores opinan que la migración hacia WCDMA se hará directamente de GSM o GPRS sin la necesidad de implementar EDGE.

#### **2.1.5.2 Evolución del Sistema TDMA/IS-136**

Originalmente la migración de TDMA hacia 3G era paralelo al de GSM, en donde los operadores tendrían que sobreponer GPRS sobre su infraestructura TDMA, seguida de la introducción de una interfaz de radiofrecuencia EDGE. Sin embargo, con la adopción de GSM por parte de AT&T, la ruta de migración cambió. Actualmente, se asume que los operadores desplegarán en primer lugar una red GSM en sus bandas de espectro asignadas (800 y/o 1900 MHz), y después migrar éstas redes hacia GPRS, posiblemente hacia EDGE, y finalmente hacia WCDMA. En teoría este cambio en la ruta de migración, permitirá a los operadores de TDMA beneficiarse de los avances que se tienen en investigación y desarrollo y de las economías de escala que ha causado el mundo de GSM [CDG,2001], por lo cual se convierte en la opción más interesante para los operadores. De hecho, el operador más grande de nuestro país, Telcel, ha desplegado una red GSM/GPRS como primer paso hacia la tercera generación.

Otra opción de los sistemas TDMA es emplear un modelo totalmente diferente basado en CDMA2000 1x, el cual constituye la primera fase del sistema de 3G CDMA2000. Existen además otras evoluciones, incluyendo CDMA20001xEV-DO (Data Only) y CDMA20003X (3 veces la portadora de 1.25MHz). Sin embargo, esta opción no ha tenido el impacto y no es muy tomada en cuenta por los operadores de TDMA.

### 2.1.5.3. Evolución del Sistema IS-95

CDMA2000 es otro de los sistemas de 3G de la familia de IMT 2000 como vimos anteriormente y que permite una migración de las redes IS-95. El primer paso, CDMA2000 1X, incrementa 2 veces la capacidad en voz y provee velocidades de datos de hasta 307 kbps en una sola portadora de 1.25 MHz (1x) sobre un espectro existente o nuevo. A su vez, CDMA 20001xEV-DO (Data Only) ofrece una portadora separada de 1.25 MHz para datos a razones pico de datos de 2.4 Mbps. Mientras tanto, 1xEV-DV (Data-Voice) integra voz y datos en la misma portadora. La tecnología CDMA2000 3X ofrece voz y datos en una portadora de 5MHz (o tres veces [3X] la portadora de 1.25) [UMTS-Forum,2002].

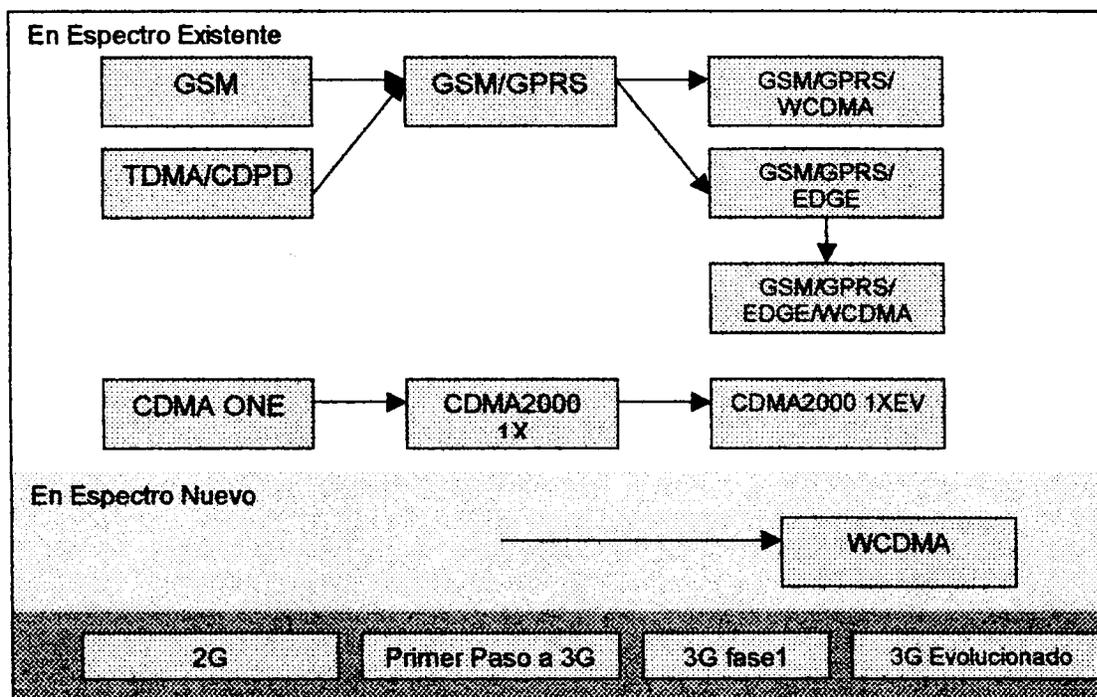
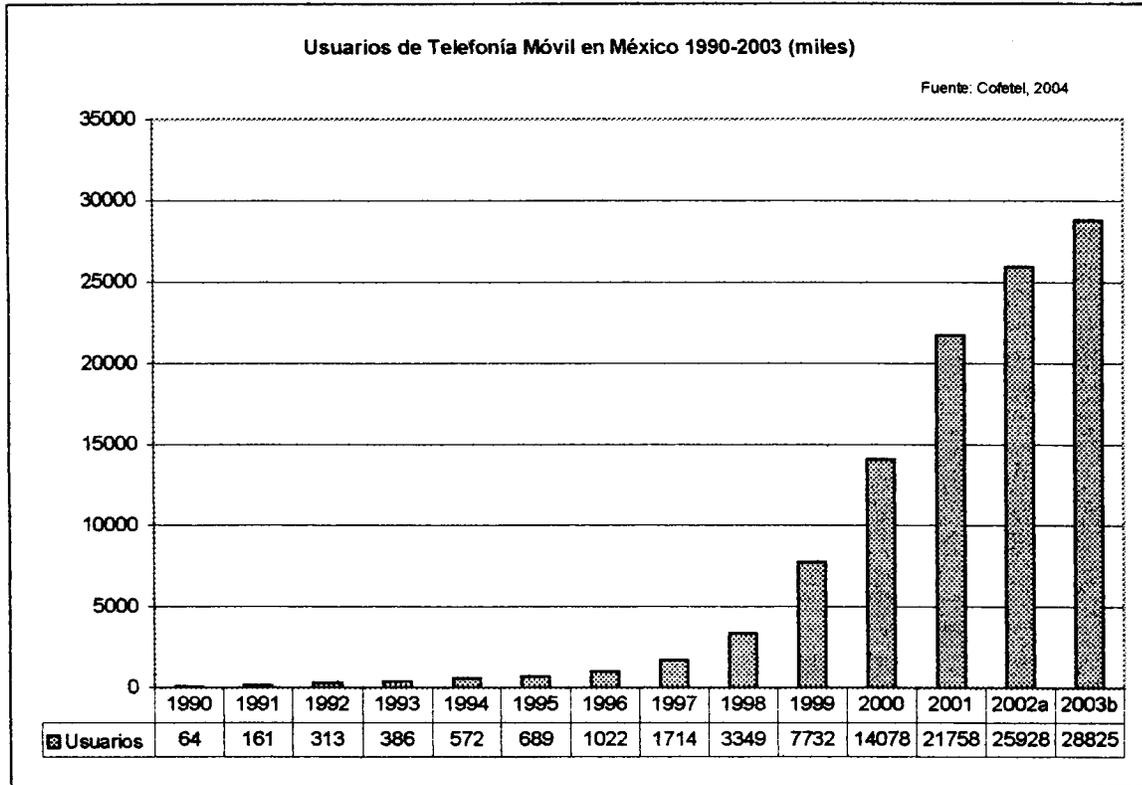


Figura 2.7. Evolución de los Sistemas Móviles hacia 3G

### Capítulo 3. Mercado de la Telefonía Celular en México

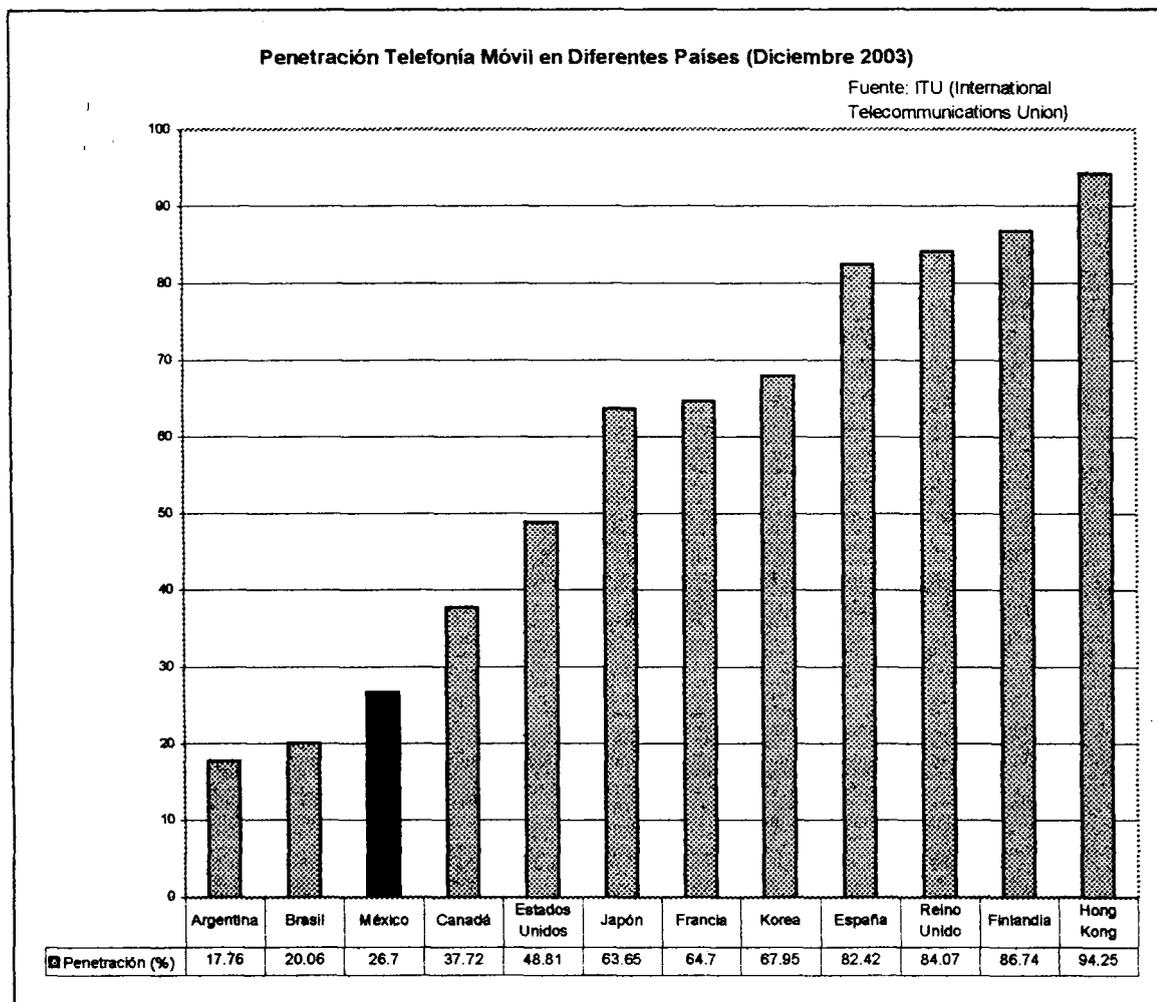
Las telecomunicaciones en nuestro país han tenido un crecimiento constante en los últimos años. En particular, la telefonía celular ha sido una de las tecnologías que más usuarios ha atraído desde su introducción en México. La desregulación del sector permitió tener un crecimiento sostenido de la tasa de penetración de esta tecnología a tal grado que actualmente existen más suscriptores de telefonía celular que líneas de telefonía fija. (Figura 3.1)

Así mismo existen otros factores que han ayudado a elevar el número de usuarios de telefonía móvil, ellos son: el sistema de prepago y la modalidad "el que llama paga". El primero de ellos, el sistema de prepago, en el cual el suscriptor paga primero, antes de poder hacer uso de los servicios, fue introducido a mediados de los años 1990 y la mayor parte del total de los suscriptores forman parte de él. Sin embargo, aunque los planes de prepago han probado ser un impulsor importante de suscriptores de telefonía móvil, una proporción grande de ellos hace a los operadores de telefonía móvil más vulnerables. Esto se debe a que, comparados con los suscriptores por contrato, los suscriptores de prepago son menos "leales" porque fácilmente pueden migrar de un operador a otro a un costo muy bajo. Además, los suscriptores de prepago tienden a consumir menos tiempo aire y otro tipo de servicios de valor agregado que los suscriptores por contrato. Actualmente, Unefón es el único operador que se enfoca solamente a los planes de prepago. Por su parte, en la modalidad "el que llama paga", los suscriptores no tienen ningún cargo (excepto roaming en caso de larga distancia) al recibir llamadas en su unidad móvil.



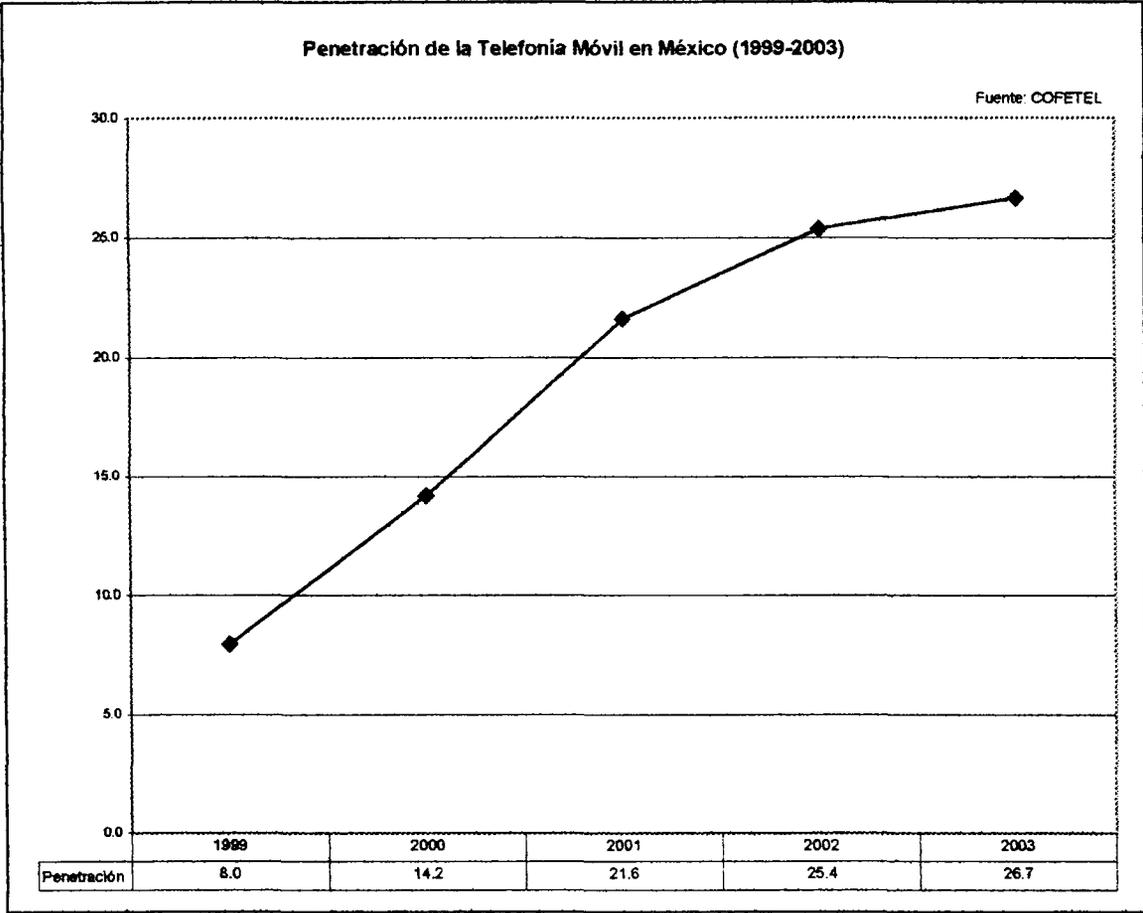
**Figura 3.1. Usuarios de telefonía Móvil en México 1990-2003**

A pesar del gran crecimiento la penetración de la telefonía celular se mantiene muy por detrás con respecto a los países desarrollados (Figura 3.2). Esto se debe en gran medida, a la distribución de los ingresos en México, donde más del 50% de la riqueza está en manos del 10% de la población, lo cual no permite que la clase social baja tenga acceso a este tipo de servicios. Otro factor importante que hace que los niveles de penetración sean distintos en nuestro país, es que el precio por minuto para telefonía móvil es mayor que el precio por minuto de telefonía fija, manteniéndose fuera del alcance del presupuesto de la población.



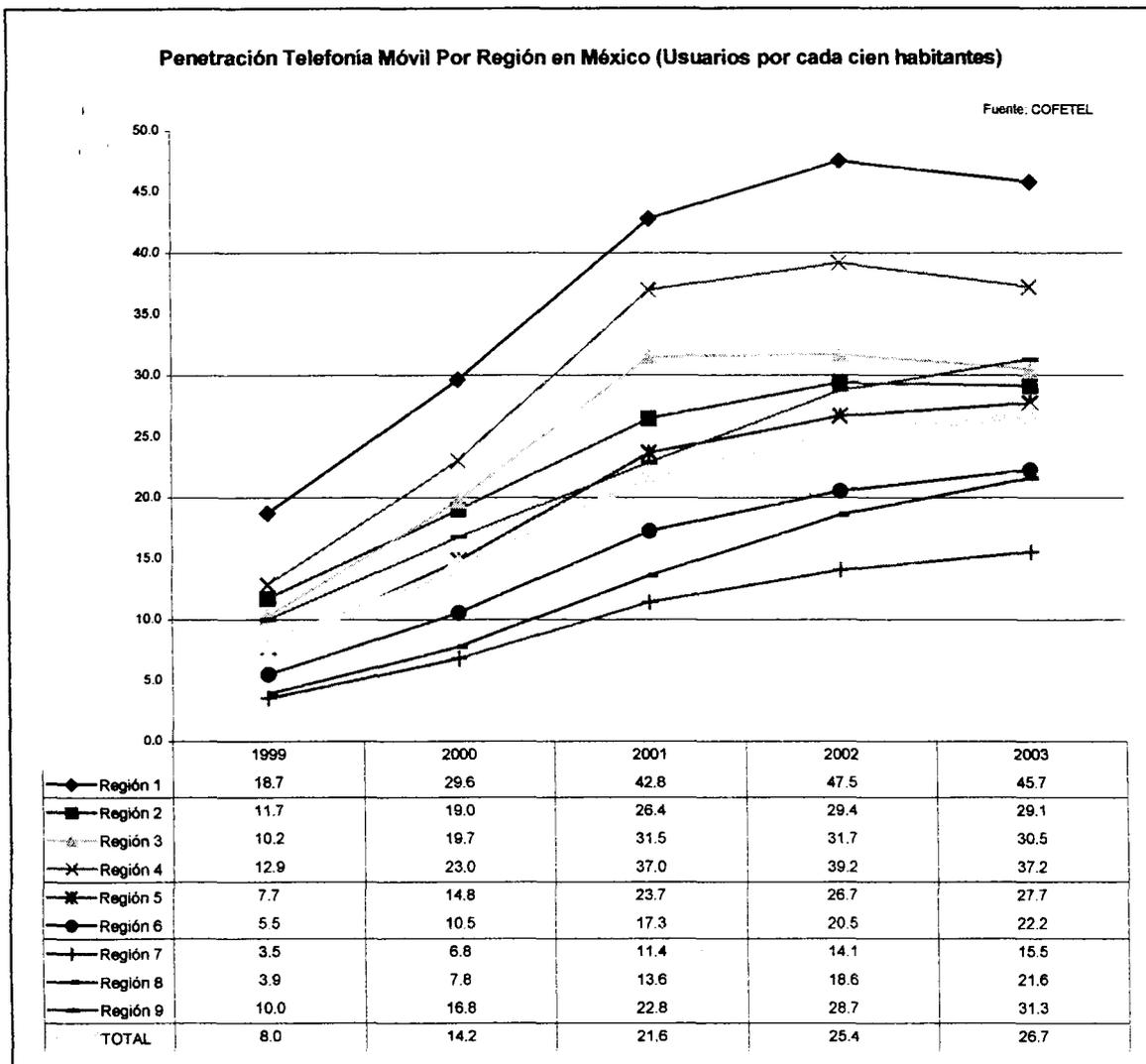
**Figura 3.2. Penetración de la telefonía móvil en diferentes países.**

Sin embargo, a pesar de estos inhibidores de crecimiento en la penetración de la telefonía móvil, en México se ha visto un gran crecimiento en el número de suscriptores, por ejemplo entre el año 1998 y 2001 éste número creció de 3.4 millones a 26.8 millones, de la misma forma la penetración ha ido creciendo como se observa en la Figura 3.3.



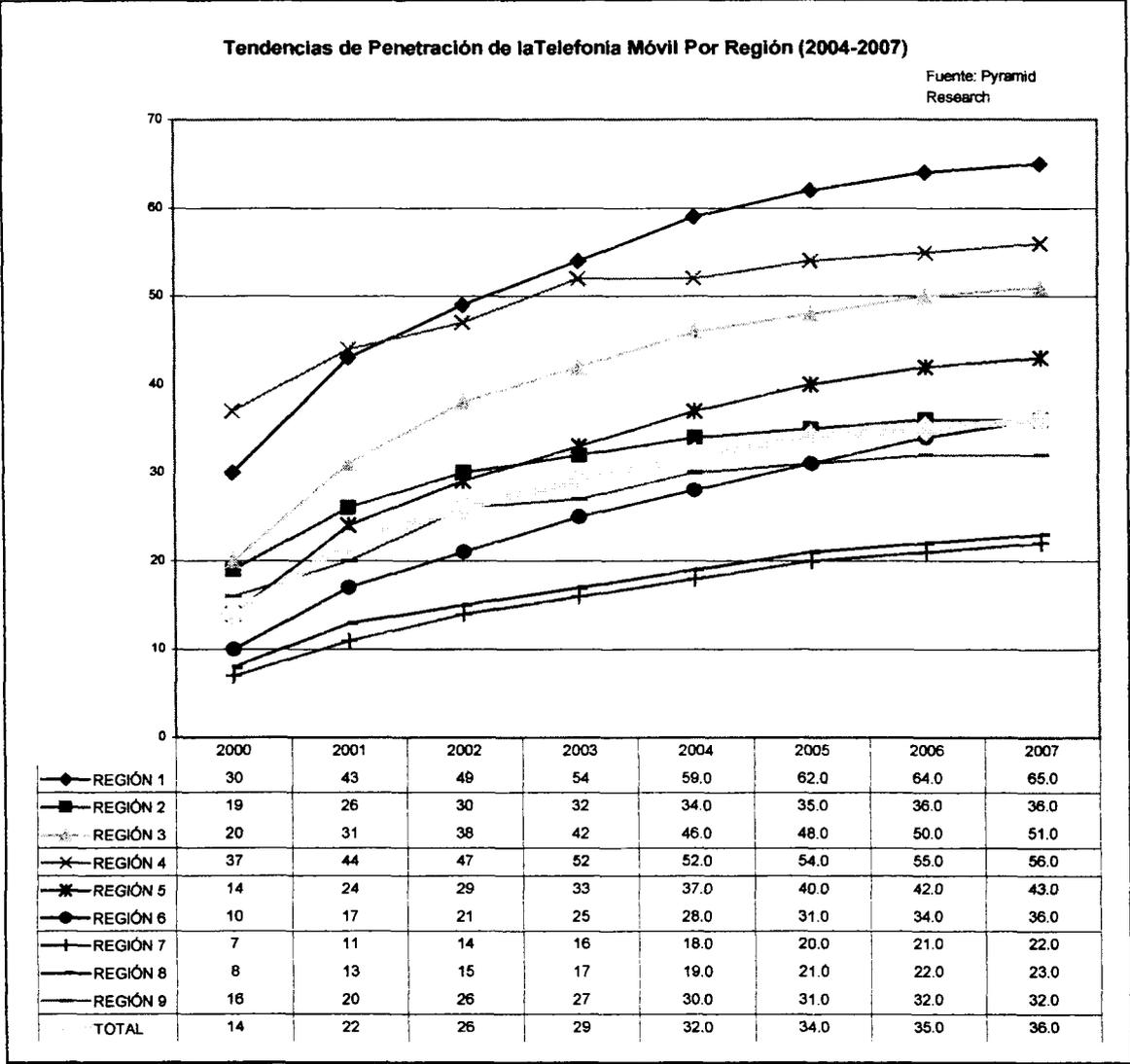
**Figura 3.3. Evolución de la Penetración de la Telefonía Móvil en México**

Esta penetración ha sido diferente en cada una de las regiones en que se divide nuestro país (Figura 4), de las cuales, la región 1, que es Baja California, cuenta con la mayor penetración (45.7%), sin embargo, la región 9, que incluye el Distrito Federal, así como los estados de México, Morelos e Hidalgo, representa la región con mayor número de usuarios con aproximadamente 6.8 millones de usuarios.



**Figura 3.4. Evolución de la Penetración Telefonía Móvil en México por Región**

Pyramid Research, prevé que la región 1 mantendrá la razón más alta de penetración en el país, y crecerá hasta un 65% para el año 2007. Por el contrario, la región 7 (Puebla, Oaxaca, Guerrero, Veracruz y Tlaxcala), tendrá la penetración más baja del país para ese mismo año (22%). (Figura 3.5)



**Figura 3.5. Penetración esperada de la telefonía móvil por región**

De acuerdo a la figura 3.5 se puede esperar que durante los próximos años, el nivel de penetración en nuestro país no rebasará el 40%, creciendo aproximadamente 1% cada año.

### 3.1. Operadores de Telefonía Móvil en México

A principios de 1999, el mercado de la telefonía móvil en México se redujo de 10 a 4 compañías operadoras: Telcel, Iusacell, un grupo de empresas del norte y Portatel del Sureste. Para febrero de ese mismo año un nuevo operador entró en el mercado, Pegaso PCS, posteriormente, en el año 2000, apareció Unefon ofreciendo servicios PCS. Actualmente en nuestro país se han consolidado cuatro grandes empresas proveedoras de servicio de telefonía móvil: Telcel, Telefónica, Iusacell y Unefon, además de Nextel.

Operador	Cobertura con Licencia	Estándar
Telcel	Nacional	AMPS/TDMA/GSM/GPRS
Iusacell	Regiones 1,4,5,6,7,8,9	AMPS/CDMA
Telefónica	Nacional	AMPS/CDMA/GSM
Unefon	Nacional	CDMA
Nextel	Nacional	iDen

Tabla 3.1. Operadores de Telefonía Celular en México

#### 3.1.1. Telcel

Telcel forma parte de América Móvil y es el proveedor líder de servicios de telecomunicación celular en México. A través de la subsidiaria Radiomóvil Dipsa, proporciona cobertura en las nueve regiones de México, única compañía con una red que brinda cobertura nacional incluyendo más de 100,000 ciudades y aproximadamente el 90% de la población de México. Cuenta con el respaldo de una sólida infraestructura financiera tras haber sido el resultado de la escisión de Teléfonos de México S.A. de C.V. [América Móvil, 2004]

Telcel cuenta con la concesión y operación de la "Banda B" del espectro de radio de 800MHz para proveer servicios de telefonía celular y con concesión para proveer de servicios PCS en la "Banda D" en las 9 regiones del país.

Este operador ofrece una gran variedad de servicios móviles de voz y datos enfocados tanto a usuarios residenciales y comerciales. Así mismo se ha distinguido por

traer constantemente nuevos productos y servicios al mercado, ya que fue el primero en introducir servicios de valor agregado como identificador de llamadas y servicio de mensajes (SMS). Sin duda alguna, gran parte de su éxito se debe a su plan de prepago llamado "Amigo Kit" además de que recientemente con el lanzamiento de su red GSM ha añadido a su cartera de productos una gran variedad de servicios de información y entretenimiento.

Algunos factores que han permitido un dominio continuo de este operador en el mercado son [Pyramid Research,2003]:

- Cobertura Extensa, ya que es el único operador en nuestro país que tiene una cobertura a nivel nacional, que incluyen más de cien mil poblaciones.
- Red de distribución amplia, porque cuenta con la red más extensa de distribución en México, donde las personas pueden adquirir sus equipos y tarjetas de prepago.
- Tecnología de punta. Fue el primero en digitalizar sus redes cuando eligió la plataforma TDMA de Ericsson en 1997, y de igual forma al anunciar sus planes de migración hacia 3G a través de GSM/GPRS como primera etapa hacia EDGE.

### **3.1.2. Telefónica**

Telefónica pertenece al poderoso conglomerado español Grupo Telefónica, el cual tiene una presencia sólida a nivel global en las telecomunicaciones, medios de comunicación y sectores de negocio por Internet. Este grupo español provee un portafolio completo de servicios de comunicaciones, incluyendo telefonía fija y móvil, transmisión de datos y servicios de valor agregado, soluciones corporativas, acceso a Internet, etc.

Telefónica entró al mercado mexicano de telefonía móvil cuando en el año 2001 adquirió algunas operadoras del norte del país (Bajacel, Movitel, Norcel y Cedetel) bajo el nombre de Telefónica Móviles México.

Con la adquisición de parte del capital de Grupo Pegaso Telecomunicaciones a mediados de septiembre 2002 y la integración de esta compañía con las operaciones de Telefónica Móviles en el norte del país, Telefónica Móviles México se ha convertido en el segundo operador de telefonía móvil del mercado mexicano, con licencia para operar en todo el país. En este sentido, actualmente Telefónica Móviles México cuenta con más de 2.5 millones de clientes [Telefónica 2004]<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Telefónica, "Telefónica Móviles incorpora las ciudades de Puebla y León a su red GSM en México", Feb,2004.

A pesar de que la adquisición de Grupo Pegaso fue la segunda inversión de Telefónica en nuestro país, fue este movimiento la que le dio el mayor valor estratégico, ya que además de contar con una red CDMA, operaciones en las doce ciudades más grandes de México y una gran número de usuarios, Pegaso le dio a Telefónica una licencia de PCS a nivel nacional para operar en la banda de 1900 MHz, lo cual, combinado con la licencia en los 800 MHz de los operadores del norte adquiridos anteriormente, dejó al operador español con un gran espectro para ser utilizado.

### **3.1.3. Iusacell**

Iusacell es el tercer proveedor de comunicaciones inalámbricas en nuestro país que cuenta con más de 2.2 millones de suscriptores. Esta compañía comenzó a operar a finales de los años de 1980 como parte de Grupo Peralta y fue la primer compañía en proveer servicios móviles en la ciudad de México en 1989, actualmente el 74% del capital de este operador pertenece a Movil Access, que forma parte de Grupo Salinas[Iusacell,2004]<sup>3</sup>.

Así mismo fue el primer operador en ofrecer servicios de Internet inalámbrico utilizando el protocolo WAP (Wireless Access Protocol), y también por primera vez de dio a sus clientes descuentos en sus tarifas por minuto durante las noches y fines de semana.

En el 2001 lanzó su tarjeta universal VIVA, el único producto de prepago que puede ser utilizado para cargar tiempo aire a una unidad móvil Iusacell de prepago y como una tarjeta para hacer llamadas de larga distancia desde cualquier teléfono fijo.

La red móvil de Iusacell opera con tecnología CDMA, y su principal proveedor de infraestructura es Lucent. La mayor parte de sus inversiones a corto plazo están destinadas a la extensión de su red PCS en el norte del país y a la migración a tecnología 2.5G.

### **3.1.4. Unefón**

Unefon fue fundada en el año de 1997, dos años después fue reestructurada como una co-inversión entre el empresario Moisés Saba Masri y TV Azteca. En diciembre de 2000, Unefon se convirtió en empresa pública, vendiendo 7% de su

---

<sup>3</sup> Iusacell, Corporativo, 2004.

capital, mientras que Moisés Saba posee 46.5% de la compañía y TV Azteca el 46.5% restante.

A partir de su inicio de operaciones, la Compañía ha experimentado un crecimiento importante, habiendo concluido los ejercicios de 2000, 2001 y 2002 con 156 mil, 825 mil y 1.5 millones de usuarios, respectivamente. Esta enfocado en proveer servicios a precios accesibles al mercado en las principales ciudades del país ya que ofrece las tarifas más bajas del mercado en la modalidad de prepago. La gran mayoría de los productos de Unefon se ofrecen sobre una base 100% de prepago, con lo cual la compañía se ahorra altos costos de facturación y cobranza.

Otro elemento clave en la estrategia comercial de Unefon es contar con una amplia red de distribución mediante numerosos puntos de venta. La distribución a través de su socio estratégico Grupo Electra es un componente fundamental en este plan. Además, cuenta con su propia fuerza de ventas y acuerdos de distribución con numerosas cadenas comerciales, importantes tiendas departamentales, cajeros automáticos y distribuidores independientes en cada ciudad que complementan su estrategia comercial.

Unefón al igual que Iusacell y Telefónica opera con la tecnología CDMA (Code Division Multiple Access) y cuenta con licencia de PCS a nivel nacional, aunque su estrategia de cobertura está enfocada en dar servicio sólo en las ciudades más importantes del país[Unefón, 2004].<sup>4</sup>

### **3.2. Camino a la Tercera Generación**

Actualmente en nuestro país se ofrecen servicios de 1G, 2G y recientemente de 2.5G. Telcel aún hace uso de la tecnología AMPS (1G) además de TDMA (2G), mientras que, tanto Unefón, Iusacell y Telefónica utilizan la tecnología CDMA (2G) en sus redes celulares. Así mismo la compañía Telefónica y Telcel han implementado redes GSM en la banda de PCS.

La empresa española ha decidido cambiar todo su red CDMA hacia GSM como primer paso hacia la tercera generación. De igual forma Telcel, desde hace un par de años comenzó a ofrecer sus servicios con tecnología GSM en el mercado mexicano al

---

<sup>4</sup> Unefón, Corporativo, 2004.

implementar su red GSM/GPRS como la antesala para la utilización de la tecnología de tercera generación EDGE.

El camino hacia la tercera generación en nuestro país es incierto a pesar de que en otros países ya se encuentran funcionando redes de este tipo. Los sistemas de tercera generación en México serán implementados en un principio en las bandas actuales, pero sin duda, en un futuro será necesaria la asignación de nuevas bandas de espectro radioeléctrico en base a las necesidades y demandas que el mercado mexicano requiera. En los siguientes capítulos se realiza un cálculo de las necesidades futuras de espectro así como de las posibles bandas de espectro para la 3G.

## **Capítulo 4. Bandas de Espectro Potenciales para 3G**

En este capítulo se presenta un análisis de las bandas potenciales recomendadas por la UIT para la implementación de las tecnologías de IMT-2000 en México, tomando en cuenta las propuestas de los diferentes organismos, tanto gubernamentales como proveedores de tecnología.

### **4.1. Bandas Recomendadas para la Implementación de IMT-2000**

De acuerdo a la UIT, los sistemas IMT-2000 funcionarán en las bandas de frecuencia identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y destinadas a ser utilizadas a nivel mundial por las administraciones que deseen implementar las IMT-2000 tal como se señala a continuación.

La CAMR-92 (Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones'92) identificó las bandas siguientes como opciones para implementar los sistemas IMT-2000:

- 1 885-2 025 MHz
- 2 110-2 200 MHz

A su vez, durante la CMR-2000 se identificaron las bandas:

- 806-960 MHz
- 1 710-1 885 MHz
- 2 500-2 690 MHz

Además en ambas conferencias se señaló que la identificación de dichas bandas no significa la existencia de prioridad alguna en el RR y que ello no impide la utilización de dichas bandas por otros servicios para los que las mismas hayan sido atribuidas. Asimismo, algunas administraciones pueden desplegar sistemas IMT-2000 en bandas distintas a las identificadas en el RR.

La situación mundial actual con respecto a los planes de utilización de las bandas de espectro pueden observarse en la Figura 4.1.

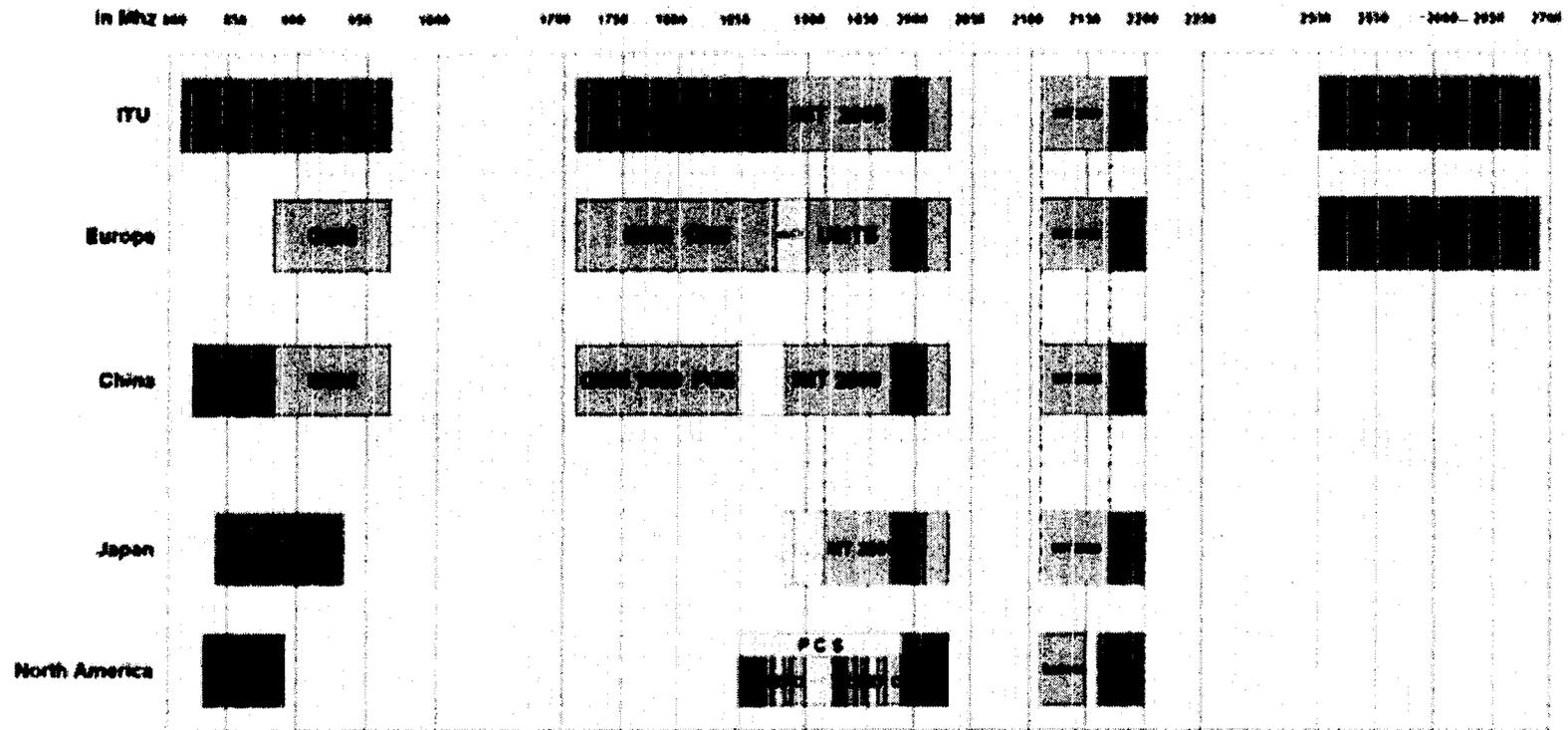


Figura 4.1. Bandas de Frecuencia para IMT-2000

De esta manera, es necesario realizar un análisis de las bandas propuestas y determinar las posibles asignaciones de espectro que puedan cumplir con los planteamientos anteriores en nuestro país.

En primer lugar, se observará la situación actual de dichas bandas en México, que de acuerdo al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias de la COFETEL, se resume al contenido de la tabla 4.1.

Banda	Servicio Asignado
806 - 821/851 - 866 MHz	Radiocomunicación móvil especializada de flotillas en rutas carreteras y ciudades
821 - 824/866 - 869 MHz	Radiocomunicación para seguridad pública
824 - 825/869 - 870 MHz	Ampliación para radiotelefonía celular a concesionarios "A"
825 - 835/870 - 880 MHz	Radiotelefonía celular destinada a concesionarios "A"
835 - 845/880 - 890 MHz	Radiotelefonía celular destinada a concesionarios "B"
845 - 846.5/890 - 891.5 MHz	Ampliación de telefonía celular "A"
846.5 - 849/891.5 - 894 MHz	Ampliación de telefonía celular "B"
849 - 851/894 - 896 MHz	Telefonía pública a bordo de aeronaves
806 - 824/851 - 869 MHz y 896 - 901/935 - 940 MHz	Servicio Móvil Terrestre a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos
824 - 849 y 869 - 894 MHz	Servicios Públicos de Radiocomunicación empleando sistemas celulares a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos.
849 - 851 MHz y 894 - 896 MHz	Servicio Público de Radiocomunicación Aire a Tierra en la frontera con Estados Unidos
890 - 960 MHz	Siendo despejada de los sistemas de microondas que transmiten radiotelefonía multicanal de punto a punto
901 - 902 MHz, 930 - 931 MHz y 940 - 941 MHz	Implementación de Sistemas Personales de Comunicaciones de banda angosta
901 - 902 MHz, 930 - 931 MHz y 940 - 941 MHz	Servicios de Comunicaciones Personales, a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos
902 - 928 MHz	Destinada para aplicaciones del servicio fijo y móvil utilizando tecnologías convencionales, cuyas aplicaciones principales son la transmisión de datos de baja velocidad; así como para la operación de sistemas meteorológicos, dando la protección necesaria a los equipos Industriales Científicos y Médicos
902 - 928 MHz, 2 450 - 2 483.5 MHz y 5 725 - 5 850 MHz	Sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica de espectro disperso
929 - 930 MHz y 931 - 932 MHz	Servicio de radiolocalización móvil de personas ("paging").
929 - 930 MHz y 931 - 932 MHz	Servicio de radiolocalización móvil de personas ("paging") a lo largo de la frontera común México

	- Estados Unidos
932 - 932.5 MHz y 941 - 941.5 MHz,	Servicio fijo punto a multipunto a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos.
932.5 - 935 MHz y de 941.5 - 944 MHz	Servicios fijos punto a punto a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos
1 670 - 1 675 MHz y 1 800 - 1 805 MHz	Proyectadas para su utilización, a nivel mundial, por las administraciones que deseen introducir la correspondencia pública aeronáutica
1 700 - 2 300 MHz, 2 500 - 2 690 MHz, 6 450 - 7 110 MHz, 10 700 - 11 700 MHz y 12 750 - 13 250 MHz	Servicio fijo multicanal para sistemas de microondas digitales de baja, mediana y alta capacidad, pero actualmente, las bandas de 1 700 - 2 300 MHz y 2 500 - 2 690 MHz están en proceso de despeje para dar cabida a otros servicios de interés público para México
1 850 - 1 990 MHz	Servicios de Comunicaciones Personales, a lo largo de la frontera común México - Estados Unidos
1 850 - 1 910 MHz y 1 930 - 1 990 MHz	Servicios de comunicación fija y móvil incluyendo los Servicios de Comunicación Personal (PCS). (Ver Tabla 4.2)
1 910 - 1 930 MHz	México, en base a sus necesidades y regulaciones nacionales, analiza la atribución de esta banda teniendo en cuenta las recomendaciones de la UIT y de CITELE.
1 885 - 2 025 MHz y 2 110 - 2 200 MHz	Destinadas a nivel mundial a las administraciones que desean introducir las telecomunicaciones móviles internacionales - 2000 (IMT - 2000)
1 990 - 2 025 MHz y 2 160 - 2 200 MHz	Proyectado para el servicio móvil por satélite, mediante Satélites de Órbita Baja para transmisiones de voz y datos
2 025 - 2 110 MHz	Enlaces accesorios de televisión, para la transmisión remota de material noticioso y de eventos especiales, desde el lugar de la escena hacia los estudios
2 500 - 2 690 MHz	Destinada primordialmente para el Servicio Restringido de Señales de Televisión y Audio vía microondas (TV y Audio de paga) en las principales ciudades del país, considerando también sus correspondientes zonas conurbadas.
2 500 - 2 686 MHz	Servicios de distribución punto a multipunto a lo largo de la frontera con Estados Unidos

**Tabla 4.1. Servicios Asignados en México dentro de las Bandas Recomendadas por la UIT para los Sistemas IMT-2000.**

Bloque	Sub-banda	Sub-banda apareada
A	1 850 - 1 865 MHz	1 930 - 1 945 MHz
B	1 870- 1 885 MHz	1 950 - 1 965 MHz
C	1 895 - 1 910 MHz	1 975 - 1 990 MHz
D	1 865 - 1 870 MHz	1 945 - 1 950 MHz
E	1 885 - 1 890 MHz	1 965 - 1 970 MHz
F	1 890 - 1 895 MHz	1 970 - 1 975 MHz
	1 910 - 1 930 MHz	(no apareada)

**Tabla 4.2. Bloques de Sub-bandas para PCS en México**

## 4.2. Propuestas de Bandas de Espectro

Para la asignación de las bandas de espectro adecuadas para 3G en nuestro país, la COFETEL ha recibido algunas propuestas por parte de la industria. Las empresas que han participado y que han enviado directamente sus propuestas a la COFETEL son: Alcatel, Motorola y Ericsson. De igual forma, México, como un miembro de la UIT, de la CITELE y del Grupo 3G Americas, ha trabajado en conjunto con otros miembros para la determinación de las bandas adecuadas pero no se ha llegado a una conclusión.

A continuación se presentan y analizan las propuestas de las compañías antes mencionadas, así como de algunos países de América y Europa.

### 4.2.1. Propuesta de Alcatel

Esta compañía propone que para los países que hayan implementado los servicios de comunicación personal PCS como lo es México, lo siguiente:

En primer lugar o como primera fase, propone:

1710-1755 MHz para enlace Ascendente FDD, apareado con

1805-1850 MHz para enlace Descendente FDD.

Conforme el mercado y las necesidades lo demanden, propone además utilizar las bandas de:

1755-1805 MHz para enlace ascendente FDD, apareado con

2110-2160 MHz para enlace descendente FDD, así como las bandas

1970-1980 MHz apareada con

2160-2170 MHz.

También propone que la banda de 1900-1920 MHz, sea utilizada para enlaces TDD.

#### **4.2.2. Propuesta de Ericsson**

Como fase inicial hace la propuesta de utilizar las bandas:  
1710-1770 MHz para enlace ascendente apareada con  
2110-2170 MHz para enlace descendente.

Para la fase siguiente de implementación:  
1770-1850 MHz para enlace ascendente apareada con  
2500-2690 MHz para enlace descendente.

Finalmente, y como última fase:  
1990-2025 MHz para enlace ascendente apareada con  
2170-2200 MHz para enlace descendente.

#### **4.2.3. Propuesta de Brasil**

Algunos países de América han hecho sus propuestas, entre ellos tenemos a Brasil, quien ha sugerido una segmentación de las bandas como sigue:

1710-1755 MHz para enlace ascendente apareada con  
1805-1850 MHz para enlace descendente.

1755-1785 MHz para enlace ascendente apareada con  
2110-2140 MHz para enlace descendente.

1950-1980 MHz para enlace ascendente apareada con  
2140-2170 MHz para enlace descendente.

#### **4.2.4. Propuesta de Canadá**

Por su parte, Canadá ha propuesto:

1710-1750 para enlace ascendente apareada con  
1805-1845 para enlace descendente.

1750-1800 para enlace ascendente apareada con  
2110-2150 para enlace descendente.

#### **4.2.5. Propuesta de Estados Unidos**

Sin duda, para la asignación de las bandas de espectro para 3G debe tomarse en cuenta la posición de los Estado Unidos, ya que en primer lugar, México es vecino de dicho país y por lo cual ha mantenido, mantiene y mantendrá relaciones de cualquier índole. Estado Unidos, a través de la FCC y la NTIA han realizado estudios y han considerado las siguientes opciones:

##### **Opción 1**

1710-1755 MHz como enlace ascendente apareado con  
1805-1850 MHz como enlace descendente.

##### **Opción 2**

1710-1755 MHz como enlace ascendente apareada con  
2110-2150/2160-2165 MHz como enlace descendente.

Esta opción tendría 3 fases ya que parte de la banda de enlace ascendente está actualmente asignada para servicios militares.

Primera fase: 1710-1755 MHz.

Segunda fase, se agregaría la banda: 1755-1980 MHz.

Tercera fase, si fuera necesario: 1780-1790 MHz.

### **4.3. Asignación en Europa**

Los países de la Unión Europea han comenzado a subastar las bandas de frecuencia que fueron recomendadas por la ITU, en dichas bandas será implementada la tecnología de UMTS (WCDMA).

1885-2025 MHz Como enlace ascendente apareada con  
2110-2200 MHz como enlace descendente.

### **4.4. Posición de México**

México, por su parte ha dado su apoyo a bandas similares a las que ha propuesto Canadá, es decir:

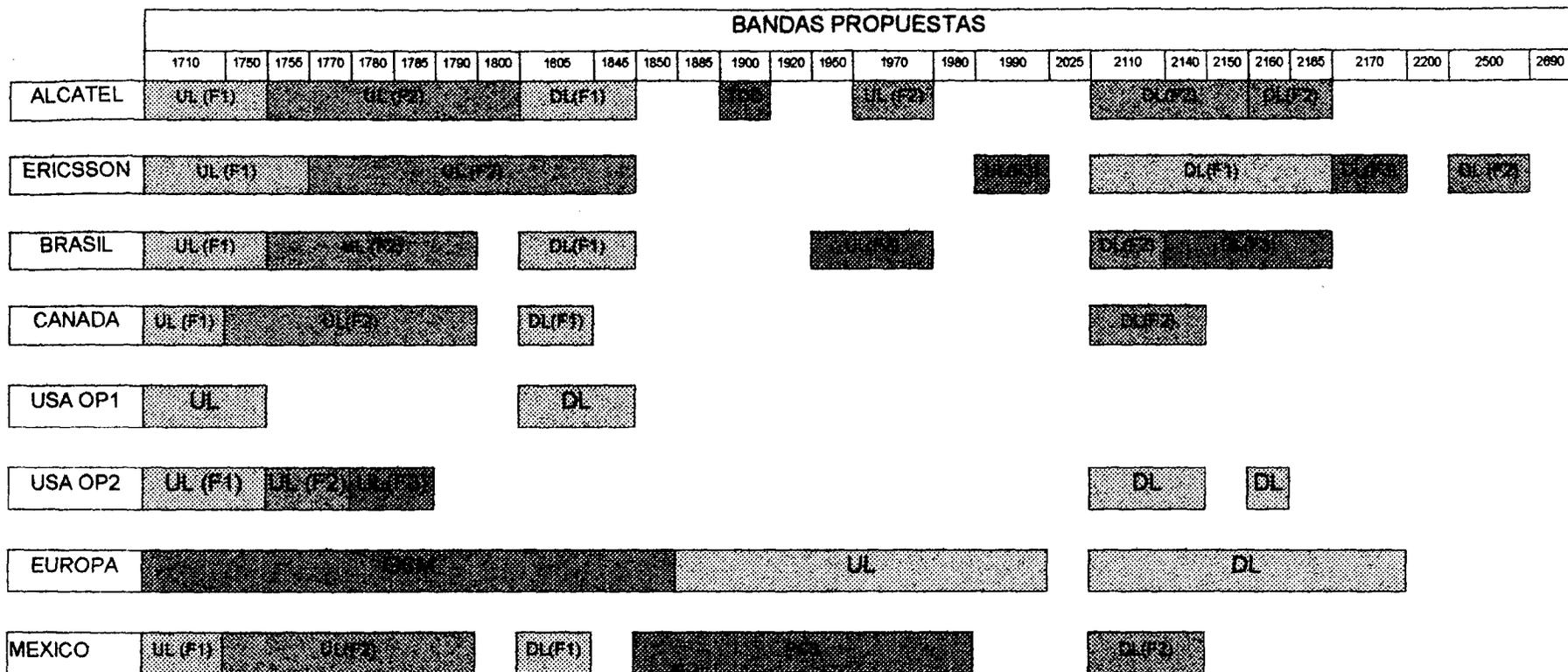
#### **Primer Fase**

1710-1750 para enlace ascendente apareada con  
1805-1845 para enlace descendente.

#### **Segunda Fase**

1750-1800 para enlace ascendente apareada con  
2110-2150 para enlace descendente.

En la figura 4.2 se puede observar en conjunto las propuestas mencionadas.



Up Link	UL
Down Link	DL
Fase1	F1
Fase2	F2
Fase3	F3

Figura 4.2. Bandas Propuestas para la Región 2 (América)

## **4.5. Análisis Sobre las Propuestas**

### **4.5.1. Banda de 1710-2200 MHz**

Como se ha podido observar, las diferentes propuestas hechas tanto por la industria como por los organismos gubernamentales de algunos países, coinciden en su mayoría en las bandas para la implementación de 3G. Sin embargo, antes de seguir adelante, es necesario establecer que debido a que en América, la mayoría de las bandas de los sistemas de comunicaciones personales (PCS) (1 850 - 1 990 MHz) se encuentran en un espectro de frecuencia que ya se ha identificado para la utilización de las IMT-2000, se pueden considerar como bandas núcleo para las IMT-2000 en los países que optan por utilizar las bandas de los PCS, como es el caso de México. Esto debido a que la utilización de las bandas de los PCS tiene la ventaja de:

- Implementar de inmediato las comunicaciones inalámbricas digitales, y en el futuro evolucionar a los sistemas y servicios de las IMT-2000, cuando estén disponibles.
- Se ha hecho una inversión apreciable en las bandas de los PCS, que están situadas en 1850-1990 MHz.
- En vista que la mayoría de los PCS son sistemas móviles digitales de segunda generación y que la mayoría de las bandas de los PCS se superponen a las bandas identificadas para las IMT-2000, estas bandas serían las más aptas para el despliegue de las IMT-2000.
- Varias administraciones de la Región 2 han adoptado, total o parcialmente, el plan de las bandas de los PCS.
- Debe observarse que ciertas administraciones sólo han desplegado parte de las bandas de los PCS, y que ciertas partes de las bandas de los PCS en reserva para aplicaciones futuras.

Sin embargo, se encuentra una desventaja importante:

- Toda la banda de PCS (enlace de subida y de bajada) sólo es compatible con la banda designada para el enlace de subida asignado en Europa, por lo que el problema de roaming mundial no sería resuelto.

- Los sistemas de 3G serían diferentes, mientras que en México se está utilizando dicha banda para evolucionar hacia EDGE a través de GSM (Caso Telcel) y a cdma2000 (caso Iusacell), en Europa se está implementando WCDMA.

Una observación que parece importante es el hecho de que todas las propuestas estén basadas dentro de las bandas de 1710-1850 y 2110-2200, esto se debe a lo siguiente:

- La CAMR-92 (Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones'92) identificó a las bandas 1 885-2 025 MHz y 2 110-2 200 MHz como opciones para los sistemas de IMT-2000, de esta forma en Europa decidió hacer caso de esta recomendación comenzando la subasta de espectro en dichas bandas, y como una de las características de los sistemas de 3G es que exista un roaming global, lo que se busca es que las asignaciones de espectro puedan ser similares en el mundo entero, de ahí que las propuestas sean tan parecidas.
- Se tendría la ventaja potencial de permitir el uso compatible por países miembros y no miembros de la Región 2 de las bandas de 1 710-1 755 MHz y 1 805-1 850 MHz, dado que las mismas son utilizadas en la mayor parte de Europa para los sistemas de radio móviles GSM de segunda generación. No obstante ello, una desventaja es que no resulta claro si los países europeos realizarían la transición de dichas bandas a los sistemas 3G.

En el caso de México, anteriormente se utilizaba la banda de 1700 - 2300 MHz para el establecimiento de enlaces punto a punto, sin embargo, con base en las decisiones de la CAMR-92, en 1994 se determinó el despeje de esta banda para dar cabida a nuevos servicios de radiocomunicaciones, como lo son los PCS, por lo cual nuestro país no tendría ningún problema en asignar dichas bandas (específicamente 1710-1850) ya que prácticamente como lo menciona Jorge Arreola, funcionario de la COFETEL, están desocupadas. El principal problema que se puede observar es que debido a las relaciones con Estados Unidos, la asignación de espectro puede depender de lo que dicho país sugiera, ya que parte de esa banda está siendo utilizada para operaciones militares, de esta forma han propuesto las opciones antes mencionadas. Sin embargo, considerando la

opción que apoya México y la opción 2 de Estados Unidos, parece ser la mejor opción de las propuestas.

#### **4.5.2. Banda 2.5-2.69 GHz**

En cuanto a la banda de 2500-2690 MHz, también recomendada por la UIT para 3G hemos observado que no es tomada muy en cuenta por los países como una opción a corto plazo. De hecho, la mayoría opina que dicha banda se utilizará conforme las necesidades de espectro y el mercado se presente. En nuestro país, la banda está atribuida para servicios de televisión y audio restringido, utilizando sistemas MMDS.

El gobierno de los Estados Unidos, a través de la FCC realizó un estudio minucioso de esta banda como opción para 3G, los resultados de dicha investigación pueden aplicarse a nuestro país debido a que ambos forman parte de la región 2 y utilizan de manera similar la banda [FCC,2001]. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- La banda de 2500-2690 MHz esta en un estado de rápida evolución por parte de los servicios que actualmente utilizan la banda, los cuales son ITFS (Instructional Television Fixed Service) y MDS (Multipoint Distribution System), quienes han invertido millones de dólares para el desarrollo de sistemas inalámbricos fijos de banda ancha, incluyendo acceso de alta velocidad a Internet. Así mismo ofrecen una oportunidad significativa para una futura competencia con los servicios de cable en la provisión de servicios en áreas rurales. La banda es utilizada para proveer servicios para educación y capacitación en escuelas, centros médicos y una amplia variedad de instituciones, así como para servicios de distribución de video comercial conocido como cable inalámbrico. En México, como se mencionó anteriormente, la banda se utiliza para MMDS y las concesiones realizadas son muy recientes y tienen una caducidad de aproximadamente 20 años, por lo que no sería posible desplazar dichos servicios de esa banda en un plazo corto.
- De la misma forma, el uso de la banda por parte de los concesionarios varía de un lugar a otro. Esta falta de uniformidad presenta un reto serio para desarrollar una segmentación o una compartición que pudiera ser utilizada a través del país.
- En el caso que se diera una compartición con los sistemas de 3G para utilizar el mismo espectro o canales, se necesitarían grandes distancias de separación entre

los sistemas 3G y los sistemas MDS. De otra forma se causaría una interferencia muy grande uno al otro. Esto se debe a que la banda está asignada a los sistemas MDS en la mayoría de las áreas más pobladas del país y los sistemas 3G de igual forma querían operar en las mismas áreas.

- Para el caso de una posible segmentación, se generarían algunas dificultades técnicas y económicas para los concesionarios actuales, especialmente si tuvieran que ser reacomodados dentro de la banda. La segmentación afectaría económicamente a los actuales y planeados sistemas MDS y disminuiría la habilidad de poder ofrecer servicios a zonas rurales o mercados pequeños. Con un espectro reducido, los proveedores de MDS tendrían que reducir sus áreas de servicio y servicios a sus clientes.
- No hay una banda alterna identificada en donde poder reacomodar los concesionarios actuales. Si se reacomodaran en una banda por arriba de los 3G se afectaría del despliegue de estos sistemas ya que se tendría que considerar cambios en la propagación de la señal en bandas superiores.
- La implementación ya sea de una segmentación o un reacomodo afectarían significativamente el despliegue e impondrían costos considerables sobre MMDS. En el caso de Estados Unidos, por ejemplo, el costo de las operaciones de MMDS/ITFS en un periodo de 10 años serían hasta de USD\$19 billones [FCC,2001]. Además la opción requeriría de un tiempo considerable para implementar y grandes costos de despliegue de los sistemas, así mismo la entrega de servicios fijos inalámbricos de banda ancha a los usuarios públicos se demoraría, existiendo la posibilidad de que en áreas rurales o mercados pequeños nunca se lograría. La opción de un reacomodo implicaría también el reacomodo de servicios, así como tiempo y costos para mover esos servicios adicionales. Dichos costos, también para el caso de Estados Unidos, variarían entre USD\$ 10-30 billones, los cuales tendrían que ser necesariamente balanceados con los beneficios del despliegue de sistemas 3G.

#### **4.6. Conclusiones Sobre el Análisis de las Bandas Propuestas**

De esta forma, una vez visto el panorama de las bandas disponibles es necesario tomar en cuenta que cualquier asignación de espectro debe:

- Facilitar la introducción de IMT-2000, sujeta a consideraciones de mercado, y facilitar su desarrollo y crecimiento.

Como vimos, en nuestro país el primer paso será en las bandas de PCS actuales, y conforme el mercado lo demande se utilizarán otras bandas, siendo las opciones más viables las propuestas por Canadá y Estados Unidos (opción2).

- Minimizar la repercusión en otros sistemas y servicios que utilicen las bandas de IMT-2000 o bandas adyacentes a las mismas.

Dentro de las bandas recomendadas por la ITU, existen bandas disponibles en México dentro del rango de 1710-1850 MHz. Por lo que la Banda de 2.5-2.69 GHz, no es una opción viable a corto plazo.

- Facilitar la itinerancia a nivel mundial de los terminales IMT-2000.

Esto se lograría al elegir bandas comunes a nivel mundial de espectro, es por eso que las propuestas son muy similares.

- Optimizar la utilización eficiente del espectro en las bandas identificadas para los sistemas IMT-2000.

- Permitir la competencia.

Al asignarse nuevo espectro, podrán aparecer nuevos operadores que ofrecerán servicios de 3G, generando una competencia que sin duda se reflejará en la calidad y cantidad de servicios que puedan ofrecerse.

- Facilitar el despliegue y utilización de sistemas IMT-2000 para aplicaciones fijas y otras aplicaciones en países en desarrollo y en zonas con población dispersa.

- Dar cabida a los diversos tipos de tráfico y combinaciones de tráfico.

- Facilitar el desarrollo de normatividad de equipos a nivel mundial.

En cuanto a este punto hay que señalar que existen diferentes proveedores de equipo a nivel mundial, entre los principales tenemos a Lucent, Alcatel, Nortel y Ericsson. Todos ellos, dado el desarrollo que se pretende para 3G han sido considerados como proveedores de diferentes países para implementar alguna de las tecnologías IMT-2000, principalmente las que tienen un mayor auge, como son

WCDMA, cdma2000 y EDGE, por lo que no se vislumbra que sea un factor que impida la asignación de frecuencias de las propuestas mencionadas.

- Facilitar el acceso a los servicios en todo el mundo en el marco de las IMT-2000.
- Minimizar los costos, tamaño y consumo de potencia de los terminales cuando convenga y sea consistente con otros requisitos.
- Facilitar la evolución desde sistemas anteriores a las IMT-2000 hacia cualquier miembro de la familia IMT-2000 especificado en la Recomendación.

## Capítulo 5. Espectro Requerido para 3G en México

En los países donde la penetración de la telefonía celular es alta, la capacidad de sus redes esta casi al tope, creando la necesidad de los operadores por obtener espectro adicional para dar servicio a sus usuarios. En la actualidad, la implementación de los sistemas de tercera generación requiere de un análisis de la disponibilidad para asignar nuevas bandas de espectro o en su defecto analizar la posibilidad de implementar dichos sistemas en las bandas actuales de 1G y 2G que han sido asignadas a los operadores. Esto depende en gran medida de factores tales como la penetración, demanda de los servicios, zona geográfica, etc.

En México, como vimos en el capítulo 3, las redes celulares de los operadores utilizan tecnología de 1G, 2G y 2.5G y se pretende que los primeros sistemas de 3G sean implementados en las bandas actuales, tanto en la banda de los 800 MHz, como en la de 1900 MHz. Sin embargo, en un futuro estas bandas posiblemente no tengan la capacidad de soportar el número de usuarios de telefonía celular. En este trabajo se analizará esta hipótesis, es decir que vamos a constatar si el espectro radioeléctrico total que está asignado hoy en día es suficiente para poder soportar la demanda de la telefonía celular.

Para analizar nuestra hipótesis, en primer lugar, en este capítulo desarrollaremos un modelo para el cálculo de las necesidades de espectro para nuestro país durante los años 2004-2010, y los resultados se compararán con el espectro disponible.

### 5.1. Cálculo de las necesidades de espectro para México.

El cálculo se realiza a partir de la Metodología propuesta en la recomendación UIT-R M.1390<sup>5</sup>, la cual permite realizar estimaciones de las necesidades de espectro terrenal de las IMT-2000 a partir de un planteamiento sistemático que incorpora influencias geográficas, repercusiones del mercado y del tráfico, aspectos técnicos y de los sistemas y consolidación de los resultados de necesidades de espectro. Así mismo, es suficientemente flexible para aplicarla a una visión mundial del espectro necesario o a las necesidades específicas de los mercados regionales.

---

<sup>5</sup> Metodología para el Cálculo de las Necesidades de Espectro Terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 (IMT-2000)

En base a una serie de consideraciones, la Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, recomienda, que esta metodología debe ser utilizada por las administraciones como base para efectuar cálculos de las estimaciones de las futuras necesidades de espectro terrenal IMT-2000.

Tomando en cuenta esta recomendación, aplicaremos dicha metodología para tener una estimación de las necesidades de espectro que se requieren en nuestro país para la implementación de los sistemas de Tercera Generación IMT-2000, tomando en cuenta datos representativos de estas tecnologías, así como del mercado mexicano.

El fundamento de esta metodología consiste en determinar las necesidades individuales de espectro de todas las combinaciones representativas de entornos y servicios concretos ( $F_{es}$ ) en una zona geográfica determinada, y combinar entre sí el conjunto de necesidades individuales  $F_{es}$  para obtener una estimación de las necesidades de espectro de componente terrenal total,  $F_{Terrestrial}$ , empleando factores de ponderación apropiados ( $\alpha_{es}$ ) para la suma. El factor ( $\alpha_{es}$ ) tiene en cuenta la influencia de los servicios concurrentes en una determinada zona geográfica. Se dispone de un factor de ajuste adicional ( $\beta$ ) para aplicar a la suma compuesta a fin de tener en cuenta influencias tales como múltiples operadores, compartición del espectro y otras.

El espectro necesario ( $F_{Terrestrial}$ ) en MHz es:

$$F_{Terrestrial} = \beta \sum \alpha_{es} F_{es} = \beta \sum \alpha_{es} T_{es}/S_{es} \quad \text{[ecuación 5.1]}$$

donde «e» y «s» son subíndices que indican dependencia de los entornos y de los servicios, respectivamente.

Por tanto,  $F_{Terrestrial}$  es el espectro total requerido obtenido como suma ponderada de los distintos  $F_{es}$  coexistentes en la misma zona geográfica para todos los entornos «e» y servicios «s» considerados relevantes, ajustados para influencias tales como compartición del espectro con múltiples operadores, donde:

$F_{\text{Terrestrial}}$	= Necesidad de espectro de componente terrenal	Unidades: MHz
$T_{es}$	= Tráfico/célula <sub>es</sub>	Unidades: Mbit/s/célula
$S_{es}$	= Capacidad del sistema	Unidades: Mbit/s/MHz/célula
$\alpha_{es}$	= Factor de ponderación	Unidades: sin dimensiones
$\beta$	= Factor de ajuste	Unidades: sin dimensiones

Un esquema general de esta metodología se presenta en la figura 5.1.

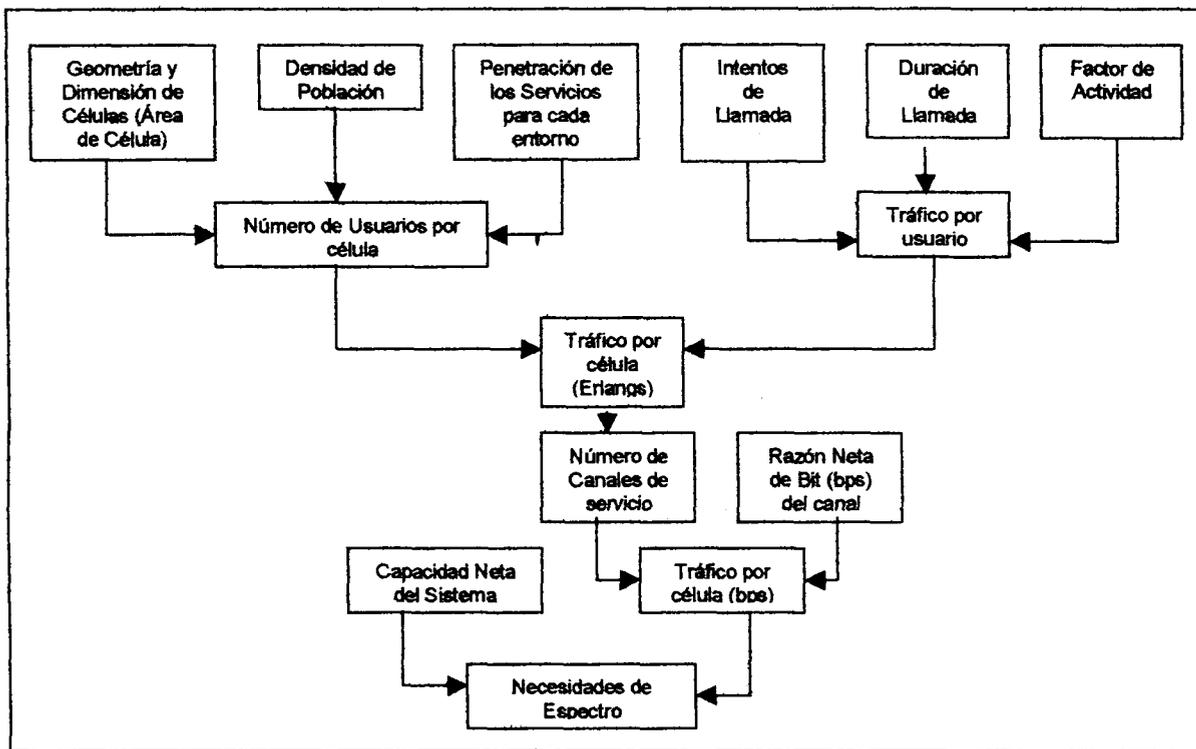


Figura 5.1. Esquema General de la Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro.

La ecuación 5.1 sirve tanto para servicios con conmutación de paquetes como de circuitos, y considera la simetría de tráfico en los sentidos enlace ascendente y descendente.

Para un mejor entendimiento de la metodología, hay que consultar la recomendación UIT-R M.1390.

A continuación se presenta el cálculo de las estimaciones de espectro necesario para los próximos siete años (2004-2010), incluyendo en cada cálculo valores de parámetros técnicos estimados por la UIT, así como suposiciones por parte nuestra.

#### **5.1.1. Entornos para el cálculo de las necesidades de espectro**

De acuerdo a la recomendación de la UIT, existen potencialmente doce posibles entornos que tuvieron que ser considerados para el cálculo completo de las necesidades de espectro:

- Urbano Denso en interiores
- Urbano Denso Peatonal
- Urbano Denso Vehicular
- Urbano en interiores
- Urbano Peatonal
- Urbano Vehicular
- SubUrbano en interiores
- SubUrbano Peatonal
- SubUrbano Vehicular
- Rural en interiores
- Rural Peatonal
- Rural Vehicular

Para nuestro cálculo se considera un subconjunto de todos los entornos: el entorno de interiores de alta densidad, peatonal urbano y vehicular urbano, los cuales son una muestra significativa, que pueden coexistir y que originan la máxima demanda de espectro total.

#### **5.1.2. Servicios representativos de las tecnologías IMT-2000**

De la misma forma y de acuerdo en la recomendación UIT-R M.816-1 y en base a las predicciones de servicios ofrecidos en nuestro país por parte de los operadores, se tiene un conjunto de servicios representativos de las tecnologías de IMT-2000:

- Conversación (S)
- Mensaje Simple (SM)
- Datos Conmutados (SD)
- Multimedia de medio nivel (MMM)
- Multimedia de alto nivel (HMM)
- Multimedia Interactivos de alto nivel (HIMM)

Tanto con los entornos y los servicios se forma el conjunto de componentes Fes para el cálculo de las necesidades.

Los cálculos se realizan para cada una de los sentidos (ascendente y descendente), y aquí cabe hacer mención de nuestra primera suposición, la cual consiste en suponer que los servicios de multimedia interactivos de alto nivel (HIMM) no estarán disponibles en nuestro país antes del año 2010, sin embargo, dichos servicios podrían estarlo cuando se introduzca 3G en México, lo cual parece será en el año 2007, por lo que en nuestros cálculos analizaremos los dos posibles escenarios.

Una vez determinado el conjunto de los entornos y los servicios, es necesario establecer la superficie y geometría representativas de la célula, por lo que a cada entorno se le ha definido un tamaño y geometría de célula (Tabla 5.1).

Entorno	Interiores de alta densidad	Peatonal urbano	Vehicular urbano
Geometría	Circular	Hexagonal con tres sectores	Hexagonal con tres sectores
Dimensión de la célula	Diámetro = 100 m	Radio = 600 m	Radio = 600 m

Tabla 5.1. Geometría y Dimensión de célula para cada entorno

Ya identificada la geometría y dimensiones de la célula para cada entorno, es necesario calcular la superficie de cada una de las células de acuerdo a las siguientes ecuaciones :

Para una célula circular :

$$\text{Área de Célula} = \pi R^2 = \pi D^2/4$$

donde: R = radio del círculo.

D = diámetro del círculo.

Para una célula hexagonal:

$$\text{Área de Célula} = (3/2) \cdot (\sqrt{3}) \cdot R^2$$

donde: R = radio (al vértice) del hexágono.

Entorno (es)	Interiores de alta densidad	Pedonal urbano	Vehicular urbano
Área de célula (km <sup>2</sup> )	$7.85 \times 10^{-3}$	$3.12 \times 10^{-1}$	$3.12 \times 10^{-1}$

Tabla 5.2. Área de célula para cada entorno (Km<sup>2</sup>)

Por otro lado, para los servicios definidos anteriormente es necesario determinar la razón neta de bit de usuario (Kbps), cuyos valores presentados en la tabla 5.3 representan el mejor desempeño de acuerdo a la UIT.

Razón Neta de Bit de Usuario	Velocidad binaria neta de enlace descendente (kbps)	Velocidad binaria neta de enlace ascendente (Kbps)
Tipo de servicio (es)		
Conferencia (S)	16	16
Mensaje simple (SM)	14	14
Datos comprimidos (SI)	64	64
Multimedios de medio nivel (MM)	384	64
Multimedios de alto nivel (HM)	2000	128

Tabla 5.3. Razón neta de bit de usuario (Kbps)

Para cada entorno considerado, hay que determinar una densidad de población, que permita indicar el número de personas por unidad de superficie que pueden hacer uso del servicio. Algunas ubicaciones geográficas similares pueden tener densidades de población diferentes en función de la movilidad que se tenga.

Para determinar la densidad de población en nuestros cálculos, hemos tomado como muestra de la población, la ciudad de México D.F., en particular la delegación Iztacalco, que tiene una densidad de población muy elevada ( $17,962 \text{ hab/km}^2$ , INEGI, 2004) y permite asumir tener el caso extremo en cuanto a densidades de población en México. Como vimos en el capítulo anterior, la penetración de la telefonía celular en la región 9 (Figura 3.2), a la que pertenece el Distrito Federal, es del 34.3%, de esta forma para calcular el espectro necesario actual se toma dicho porcentaje de la densidad de

población. Y debido a que el cálculo se realiza para los 2004 a 2010, se tiene en la tabla 5.4 las densidades de población utilizadas para cada entorno en los años siguientes, obtenidas de acuerdo a las tendencias de evolución de la penetración de la telefonía móvil en la región 9 de nuestro país (Figura 3.5).

Año	Densidad de Población (Habitantes/Km <sup>2</sup> )						
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Interiores de Alta Densidad	15403	15851	16301	16750	17199	17648	18097
Peatonal Urbano	6161	6341	6520	6700	6880	7059	7236
Vehicular Urbano	185	191	196	201	207	212	218

**Tabla 5.4. Densidad de Población (Hab/Km<sup>2</sup>) por año de acuerdo a las tendencias de penetración en la región 9.**

Con el objetivo de tener otra visión de las estimaciones de espectro, los cálculos también se realizaron en base a densidades de población asumidas que se muestran en la tabla 5.5, con lo cual se espera obtener resultados en base a situaciones de alta densidad que pudieran presentarse.

Interiores de Alta Densidad	Densidad de Población (Habitantes/Km <sup>2</sup> )				
	12500	25000	37500	50000	62500
Peatonal Urbano	5000	10000	15000	20000	25000
Vehicular Urbano	150	300	450	600	750

**Tabla 5.5. Densidad de Población (Hab/Km<sup>2</sup>) asumidas.**

Esta metodología es utilizada para calcular el crecimiento y las necesidades de espectro del año 2004 al 2010. A continuación se presentan a manera detallada cómo se llevan a cabo estos cálculos para el 2004. Al final de este capítulo se muestra gráficamente el resultado para los demás años (2004-2010).

Estudios realizados por la UIT, demuestran que los valores de penetración para los diferentes servicios serán los que se indican en la tabla 5.6 y los cuales no variarán en nuestros cálculos ya que se asume que éstos son el promedio esperado por la UIT.

Servicios $\alpha_{es}$	Entornos $\alpha_{es}$		
	Interiores de alta densidad	Peatonal urbano	Veredas urbanas
Conversación (C)	73%	73%	73%
Mensaje simple (SM)	40%	40%	40%
Datos consultados (D)	13%	13%	13%
Multimedios de medio nivel (MM)	15%	15%	15%
Multimedios de bajo nivel (BMM)	15%	15%	15%

**Tabla 5.6. Razón de Penetración de los servicios para cada entorno**

En base a las densidades de población y a los tamaños de célula anteriores, así como del nivel de penetración de cada servicio, se calcula el número de usuarios por célula para cada entorno, mediante la ecuación 5.2:

$$\text{Usuarios por célula} = \text{Densidad de Población}_{es} * \text{Nivel de Penetración}_{es} * \text{Área de Célula}_{es} \quad [\text{Ecuación 5.2}]$$

Por ejemplo, tomando la densidad de población de la tabla 5.4 del entorno peatonal urbano (6161 hab/km<sup>2</sup>), así como el servicio de conversación y su penetración (73%), la ecuación 5.2. nos da el siguiente resultado:

$$\text{Usuarios por célula} = 6161 \text{ hab/km}^2 * 0.73 * .312 \text{ km}^2 = 1402 \text{ usuarios}$$

Este resultado, junto con los demás cálculos para cada entorno y servicio se muestran en la tabla 5.7.

Servicios «a»	Entornos «b»		
	Interiores de alta densidad Número de usuarios	Peatonal urbano Número de usuarios	Vehicular urbano Número de usuarios
Conversación (S)	88	1402	42
Mensaje simple (SM)	48	768	23
Datos conmutados (SD)	16	250	7
Multimedios de medio nivel (MMM)	18	288	9
Multimedios de alto nivel (HMM)	18	288	9

Tabla 5.7. Número de Usuarios por Célula para cada Entorno

El siguiente paso es establecer los parámetros de tráfico siguientes :

- **Intentos de Llamada en la hora cargada** (sin unidades): número de llamadas intentadas por el usuario medio durante la hora cargada.
- **Duración de la llamada** (segundos): duración media efectiva de la llamada o de la sesión durante la hora cargada.
- **Factor de Actividad** (Sin Unidades): porcentaje de tiempo durante el cual el recurso es utilizado efectivamente durante la llamada.

Nuevamente, se utilizan los valores de las estimaciones de la UIT que se muestran en la tabla 5.8 para los intentos y duración de llamada dependiendo del servicio y entorno. El factor de actividad tiene valor de 0.5 para el servicio de conversación en sus correspondientes entornos, en todos los demás casos el factor de actividad vale 1.

Servicios «a»	Entornos «b»		Entornos «c»		Entornos «d»	
	Interiores de Alta Densidad		Peatonal Urbano		Vehicular Urbano	
Servicios «a»	Intentos de llamada	Duración de llamada	Intentos de llamada	Duración de llamada	Intentos de llamada	Duración de llamada
Conversación (S)	0.9	120	0.8	120	0.4	120
Mensaje Simple (SM)	0.06	30	0.03	30	0.02	30
Datos Conmutados (SD)	0.2	156	0.2	156	0.02	156
Multimedios de medio nivel (MMM)	0.5	13.9	0.4	13.9	0.008	13.9
Multimedios de alto nivel (HMM)	0.15	53.3	0.06	53.3	0.008	53.3

Tabla 5.8. Intentos y duración (segundos) de llamada para cada servicio y entorno

En seguida, se calcula el tráfico (segundos-llamada) con la ecuación 5.3 y se obtiene la tabla 5.9:

$$\text{Tráfico por usuario} = \text{Intentos de llamada} * \text{Duración de llamada} * \text{Factor de Actividad} \quad [\text{Ecuación 5.3}]$$

Por ejemplo, para el servicio de conversación en interiores de alta densidad, utilizando los valores de la tabla 5.8, el tráfico por usuario es:

$$\text{Tráfico por usuario} = 0.9 \text{ llamadas} * 120 \text{ seg} * 0.5 = 54 \text{ seg-llamada.}$$

Entorno (seg)	Interiores de alta densidad Segundos-llamada		Peatonal urbano Segundos-llamada		Vehicular urbano Segundos-llamada	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Servicio (seg)						
Conversación (S)	54	54	48	48	24	24
Mensaje simple (SM)	1.8	1.8	0.9	0.9	0.6	0.6
Datos comprimidos (SD)	31.2	31.2	31.2	31.2	3.12	3.12
Multimedios de medio nivel (MM)	6.95	6.95	5.56	5.56	0.111	0.111
Multimedios de alto nivel (HMM)	8	8	3.2	3.2	0.427	0.427

Tabla 5.9. Tráfico por Usuario para cada servicio y entorno

Una vez obtenido el tráfico por usuario, se calcula el tráfico ofrecido por célula, que se obtiene al multiplicar el tráfico/usuario por el número de usuarios/célula (Tabla 5.11).

$$\text{Tráfico por célula} = \text{tráfico por usuario} * \text{usuarios/célula} \quad [\text{Ecuación 5.4}]$$

Si tomamos el tráfico por usuario de servicio de Mensaje Simple (tabla 5.9) y su número de usuarios (tabla 5.7) para el entorno peatonal urbano tenemos:

$$\text{Tráfico por célula} = 0.9 * 768 = 691 \text{ segundos-llamada}$$

Servicio (s)	Interiores de alta densidad Segundos-llamada		Peatonal urbano Segundos-llamada		Vehicular urbano Segundos-llamada	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conversación (S)	4769	4769	67305	67305	1005	1005
Mensaje simple (SM)	87	87	691	691	14	14
Datos conmutados (SD)	491	491	7791	7791	23	23
Multimedios de bajo nivel (MLM)	126	126	1602	1602	1	1
Multimedios de alto nivel (HAM)	145	145	921	921	4	4

Tabla 5.10. Tráfico por célula para cada servicio y entorno (segundos-llamada)

Sabemos que el plan de reuso de frecuencias más utilizado es el de tamaño de grupo igual a 7, por lo que se tiene que expresar el tráfico en las 7 células en Erlangs (segundos-llamada/3600).

$$\text{Tráfico [erlangs, N=7]} = (\text{Tráfico [seg-llamada]}/3600) / 7 \quad [\text{Ecuación 5.5}]$$

Servicio (s)	Interiores de alta densidad		Peatonal urbano		Vehicular urbano	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conversación (S)	9.72	9.27	130.87	130.87	1.95	1.95
Mensaje simple (SM)	0.17	0.17	1.34	1.34	0.03	0.03
Datos conmutados (SD)	0.95	0.95	15.15	15.15	0.05	0.05
Multimedios de bajo nivel (MLM)	0.25	0.25	3.11	3.11	0.002	0.002
Multimedios de alto nivel (HAM)	0.28	0.28	1.79	1.79	0.01	0.01

Tabla 5.11. Tráfico por célula para cada servicio y entorno (Erlangs)

También, se tienen que establecer los parámetros de función de calidad de servicio (QoS). De acuerdo a la UIT, la función calidad de servicio para conmutación de circuitos se selecciona para que se exprese en Erlang B con un bloqueo de 2%. En los servicios con conmutación de paquetes la función calidad de servicio se redondea hasta el número entero más próximo.

Una vez determinado esto, se procede a calcular, el número de canales de servicio por célula necesario para transportar el tráfico ofrecido por grupo de células. Para realizar el cálculo del número de canales se utiliza la fórmula de Erlang B. En nuestro caso utilizamos una herramienta de Internet<sup>6</sup> a la cual se le ingresa tanto el bloqueo deseado como el tráfico en Erlangs, con lo cual obtuvimos la tabla 5.12.

Servicio (s)	Interiores de alta densidad		Personal urbano		Vehicular urbano	
	Erlang secundaria	Erlang decendante	Erlang secundaria	Erlang decendante	Erlang secundaria	Erlang decendante
Conversación (S)	16	16	144	144	6	6
Mensaje simple (S)	1	1	2	2	1	1
Datos comprimidos (SD)	4	4	23	23	2	2
Substitución de modo móvil (M/M)	1	1	4	4	1	1
Multimedios de alto nivel (M/M)	1	1	2	2	1	1

Tabla 5.12. Número de canales de servicio por grupo de células.

El número de canales obtenidos tienen que ser repartidos entre las células del grupo, en este caso entre siete, es decir, los datos de la tabla 5.12 tienen que ser divididos entre siete para originar la tabla 5.13.

<sup>6</sup> Frits Schoute, "The power of the Erlang Formula", <http://mmc.et.tudelft.nl/~frits/Erlang.htm>

Servicio (s)	Interiores de alta densidad		Peatonal urbano		Vehicular urbano	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conferencia (S)	2.29	2.29	20.57	20.57	0.86	0.86
Mensaje simple (SM)	0.14	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14
Datos comprimidos (SD)	0.57	0.57	3.29	3.29	0.29	0.29
Multimedios de bajo nivel (MLM)	0.14	0.14	0.57	0.57	0.14	0.14
Multimedios de alto nivel (HMLM)	0.14	0.14	0.29	0.29	0.14	0.14

Tabla 5.13. Número de canales de servicio por célula.

Es necesario determinar la razón de bit de canal de servicio necesaria para transportar una razón de bit neta de usuario. Dichos valores de velocidad son estimaciones para cada uno de los servicios ofrecidos por los sistemas de IMT-2000, y se supondrá que la razón de bit de canal de servicio es igual a la razón de bit neta de usuario.

Servicio (s)	Interiores de alta densidad (Kb/s)		Peatonal urbano (Kb/s)		Vehicular urbano (Kb/s)	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conferencia (S)	16	16	16	16	16	16
Mensaje simple (SM)	14	14	14	14	14	14
Datos comprimidos (SD)	64	64	64	64	64	64
Multimedios de bajo nivel (MLM)	64	384	64	384	64	384
Multimedios de alto nivel (HMLM)	128	2000	128	2000	128	2000

Tabla 5.14. Razón de Bit de Canal de Servicio (Kbps)

A continuación, se calcula el tráfico en cada célula, multiplicando los canales de servicio/célula de la tabla 5.13 por la razón de bit de canal de servicio de la tabla 5.14 en Mbps.

Servicios res	Interior de alta densidad (Mbit/célula)		Peatonal urbano (Mbit/célula)		Vehicular urbano (Mbit/célula)	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conversación (S)	0.0366	0.0366	0.3291	0.3291	0.0137	0.0137
Mensaje corto (SM)	0.002	0.002	0.004	0.004	0.002	0.002
Datos comprimidos (SD)	0.0366	0.0366	0.2103	0.2103	0.0183	0.0183
Multimedia de medio nivel (MM1)	0.0091	0.0549	0.0366	0.2194	0.0091	0.0549
Multimedia de alto nivel (MM2)	0.0183	0.2857	0.0366	0.5714	0.0183	0.2857

Tabla 5.15. Tráfico por célula (Mbps/Célula)

De igual forma se calcula la capacidad neta del sistema, para lo cual hay que tomar en cuenta una serie de factores tales como eficiencia espectral física de la tecnología de acceso utilizada, C/I específica, factores de codificación, entorno, etc. Sin embargo, la UIT recomienda utilizar los valores de 67 kbit/s/MHz/célula para el servicio de conversación y de 73 kbit/s/MHz/célula para todos los demás servicios.

Con estos datos, se calcula la componente  $F_{es}$  individual para ambos sentidos (enlace ascendente y descendente) utilizando la ecuación 5.6 obteniendo la tabla 5.16.

$$F_{es} = T_{es} / S_{es} \quad \text{[Ecuación 5.6]}$$

$T_{es}$  = Tráfico/célula<sub>es</sub> (valores de la tabla 5.15)

Unidades: Mbit/s/célula

$S_{es}$  = Capacidad del sistema

Unidades: Mbit/s/MHz/célula

Entornos <es>	Interiores de alta densidad (MHz)		Peatonal urbano (MHz)		Vehicular urbano (MHz)	
	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Conversación (S)	0.5458	0.5458	4.9126	4.9126	0.2047	0.2047
Mensaje simple (SM)	0.0274	0.0274	0.0548	0.0548	0.0274	0.0274
Datos conmutados (SD)	0.501	0.501	2.8806	2.8806	0.2505	0.2505
Multimedios de medio nivel (MM)	0.1252	0.7515	0.501	3.006	0.1252	0.7515
Multimedios de alto nivel (HM)	0.2505	3.9139	0.5010	7.8278	0.2505	3.9139

Tabla 5.16. Necesidades de Espectro Individuales para cada servicio y entorno (MHz)

Si se calcula  $F_{es}$  para cada servicio <<s>>, combinando o sumando las componentes de enlace ascendente y descendente de la tabla 5.16, la suma obtenida es la que se muestra en la tabla 5.17 para cada servicio y entorno.

Entornos <es>	Interiores de alta densidad (MHz)	Peatonal urbano (MHz)	Vehicular urbano (MHz)
Conversación (S)	1.09	9.83	0.41
Mensaje simple (SM)	0.05	0.11	0.05
Datos conmutados (SD)	1	5.76	0.5
Multimedios de medio nivel (MM)	0.88	3.51	0.88
Multimedios de alto nivel (HM)	4.16	8.33	4.16

Tabla 5.17. Necesidades de Espectro combinando enlaces ascendente y descendentes (MHz)

Si se supone que todos los servicios coinciden en una hora cargada, y que los tres entornos están co-ubicados en la misma zona geográfica, los factores de ponderación  $\alpha_{es}$ <sup>7</sup>, se suponen igual a uno:

$\alpha_{es} = 1$  para todos los "e" y "s"

Así mismo, para tener en cuenta la ineficacia de concentración de enlaces y las bandas de guarda, puede aplicarse un factor de ajuste  $\beta$ <sup>8</sup> del 5%, por lo que  $\beta = 1.05$ .

Finalmente, se procede a calcular el valor de espectro  $F_{\text{Terrestrial}}$  total final con la ecuación 5.1:

$$F_{\text{Terrestrial}} = \beta \sum \alpha_{es} F_{es} = \beta \sum \alpha_{es} T_{es}/S_{es}$$

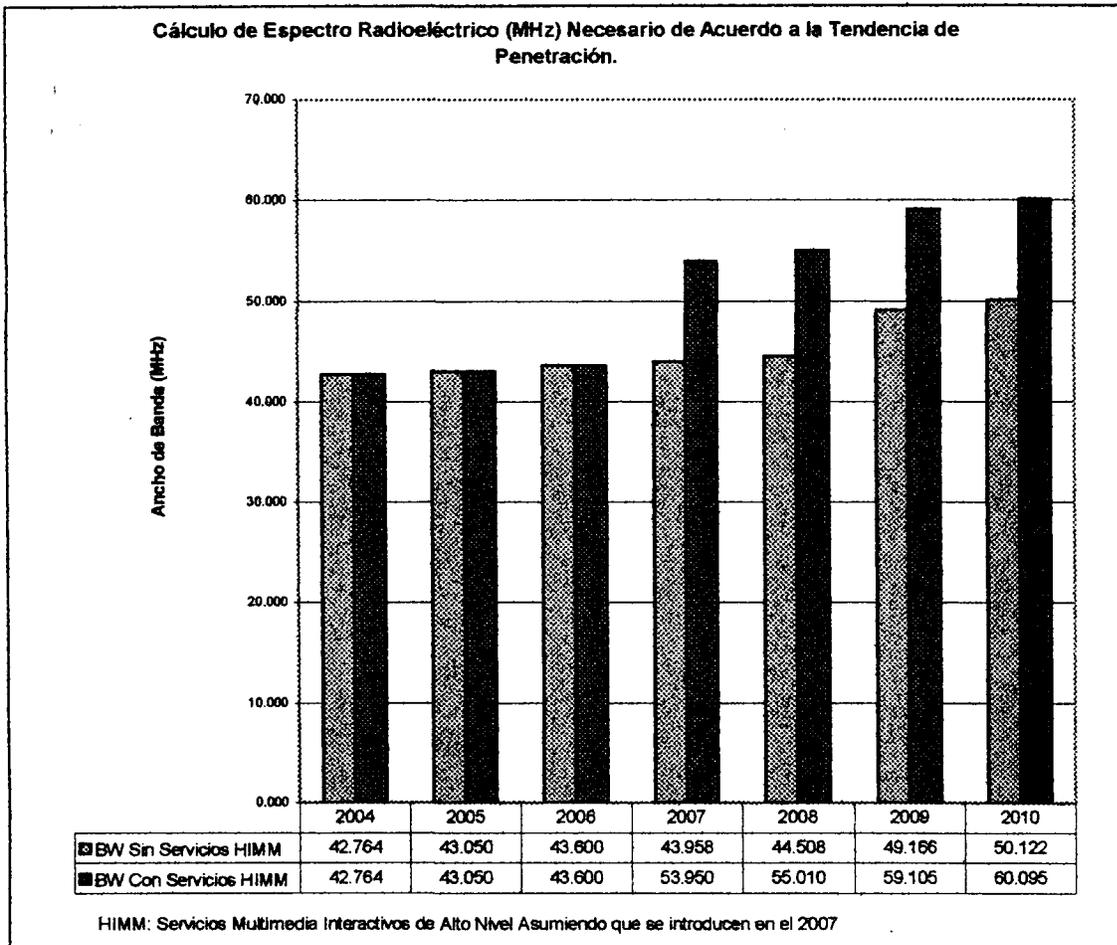
$$F_{\text{Terrestrial}} = 1.05 \sum F_{es} = 42.764 \text{ MHz} \quad [\text{ecuación 5.7}]$$

Como se mencionó al inicio del capítulo, el resultado mostrado en la ecuación 5.7 corresponde a las necesidades de espectro para el año 2004 de acuerdo a la densidad de población de dicho año. El mismo procedimiento es utilizado para calcular el espectro con cada una de las densidades de población de las tablas 5.4 y 5.5 correspondientes a los años del 2005 a 2010 y a las posibles situaciones de alta densidad, los resultados se muestran en las figuras 5.2 y 5.3 respectivamente. En dichas gráficas se observan los resultados obtenidos para los dos escenarios que asumimos, aquel en donde se espera que los servicios multimedia interactivos de alto nivel (HIMM) no sean introducidos antes del año 2010, y aquel en donde se espera que sean introducidos en el año 2007.

---

<sup>7</sup> ( $\alpha_{es}$ ) Factor de Ponderación que proporciona la ponderación apropiada en los cálculos de las necesidades de espectro y que incluye ponderación para ajustarse a los desplazamientos geográficos e entornos superpuestos y ponderación para corregir necesidades de tráfico de hora cargada no simultánea.

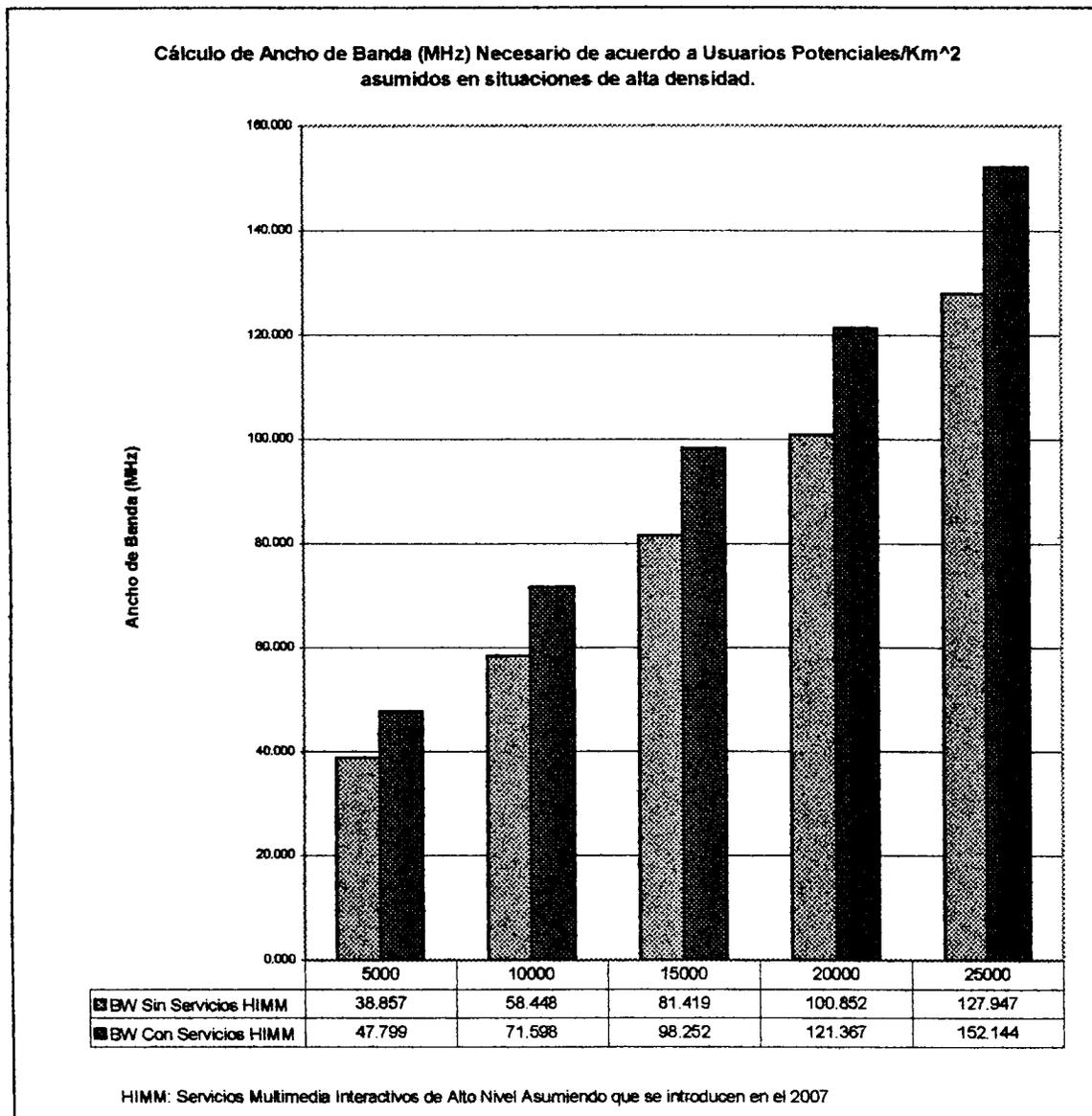
<sup>8</sup> ( $\beta$ ) Factor de Ajuste que toma en cuenta repercusiones como : múltiples operadores, compartición con otros servicios, bandas de guarda, modulación. El valor por defecto es 1.



**Figura 5.2. Cálculo del Espectro (MHz) Necesario en base a la Tendencia de Penetración.**

Los resultados mostrados en la figura 5.2 demuestran que en base a la penetración actual y esperada en los próximos años en nuestro país, las necesidades de espectro no rebasan la cantidad de espectro que está asignada actualmente (190 MHz).

Por otro lado, si nos basamos en el número de usuarios potenciales por kilómetro cuadrado en situaciones de alta densidad, que permite tener un panorama con un posible número de usuarios mayor que el de la penetración, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 5.3, y de igual forma, los cálculos nos demuestran que tampoco se rebasa la cantidad de espectro que está designada actualmente en ninguno de los dos escenarios.

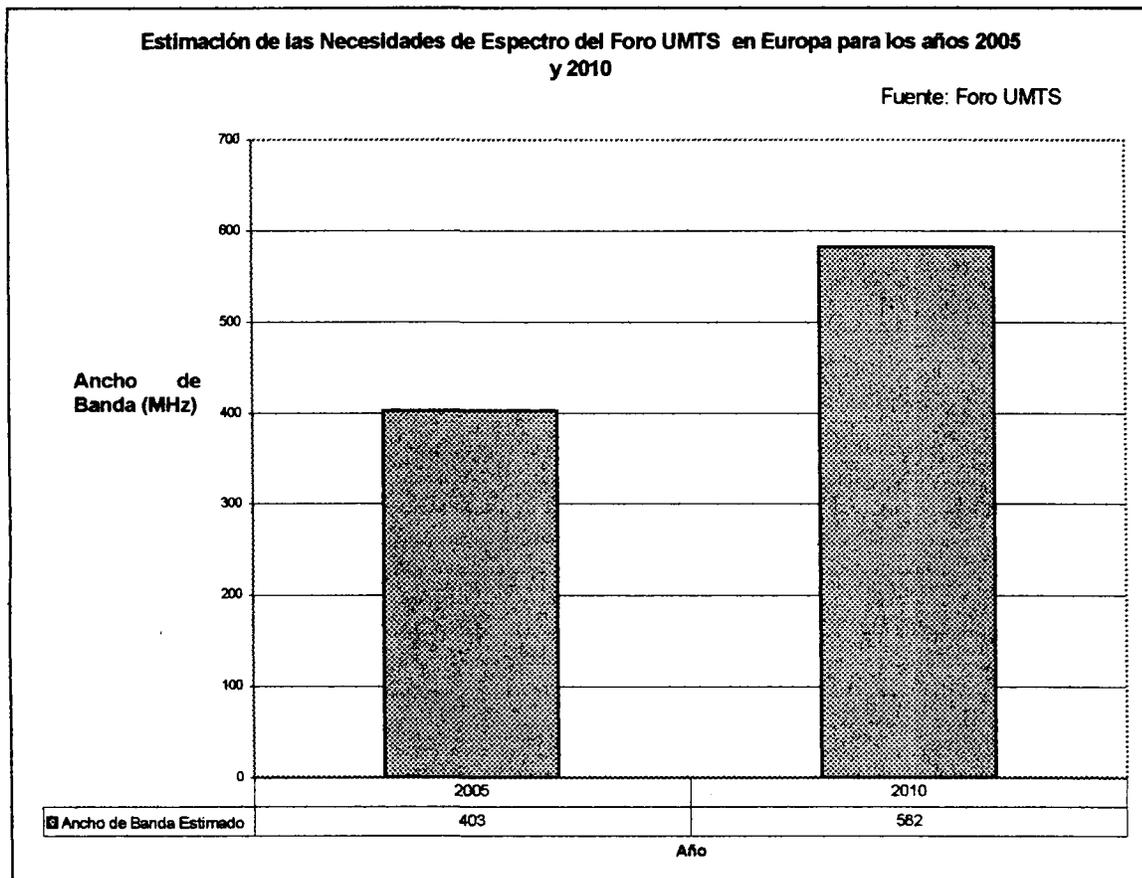


**Figura 5.3. Cálculo de Ancho de Banda (MHz) Necesario de acuerdo a Usuarios Potenciales/Km<sup>2</sup> asumidos en situaciones de alta densidad.**

Estimaciones similares han sido realizadas tanto por la UIT y el Foro UMTS (Figura 5.4). Los resultados, si los comparamos con los que hemos obtenido, son muy diferentes, esto se debe a varias razones, pero principalmente a que dichas estimaciones se hacen en base a el mercado Europeo, lo cual implica que:

- La penetración en los países europeos está muy por arriba de la de nuestro país.

- El ingreso per capita por familia en aquél continente es mayor al mexicano<sup>9</sup>, lo cual implica que en nuestro país la población tiene menos recursos para adquirir servicios de telefonía celular.
- Los servicios multimedia en nuestro país no tienen la misma demanda que en Europa.



**Figura 5.4. Estimación del Foro UMTS de las Necesidades de Espectro.**

El resultado obtenido no debe considerarse como una respuesta a las futuras necesidades de espectro en nuestro país, ya que tanto los parámetros utilizados, como otros valores pueden cambiar, y debido a que aún se están implementando los primeros sistemas IMT-2000, los valores utilizados siguen en estudio. Así mismo, no se han considerado todos los escenarios posibles, ni las diferencias que existen entre las diferentes tecnologías IMT-2000.

<sup>9</sup> OECD, "Basic Structural Statistics", <http://www.oecd.org/dataoecd/8/4/1874420.pdf>

Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, podemos decir que el ancho de banda que actualmente se encuentra asignado para los servicios de telefonía móvil, sería suficiente para dar cabida a los sistemas celulares de tercera generación (3G) de acuerdo a nuestros resultados.. Dicho espectro está dentro de las bandas recomendadas por la UIT para la implementación de 3G, lo cual permitirá a los operadores actuales tener una evolución adecuada de 2G a 3G en sus bandas actuales.

Por otro lado, parece inminente el hecho de que se tengan que abrir nuevas bandas de frecuencia que estén disponibles en un futuro, que sean similares a las bandas asignadas en otros países con el fin de cumplir uno de los objetivos de la UIT con la implementación de IMT-2000, que es el roaming mundial.

## **Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros**

### **6.1. Conclusiones**

A lo largo de este trabajo, se ha visto la importancia que ha tenido la evolución de la telefonía móvil a lo largo del mundo y cómo las diferentes tecnologías han sido adoptadas en una u otra región. En México, se encuentran implementadas actualmente tecnologías de segunda generación avanzada o 2.5G, y la evolución hacia la tercera generación 3G lleva un paso lento ya que la mayoría de los operadores aún no han dado el primer paso.

Uno de los aspectos más importantes para la implementación de 3G y en el cual se ha estado trabajando intensamente a lo largo del mundo en los últimos años, tiene que ver con el espectro radioeléctrico destinado para dichos sistemas. Encontramos que existe la necesidad de tener bandas de frecuencias comunes alrededor del mundo porque esto facilitaría la introducción, el desarrollo y crecimiento de 3G. Para lograr ese objetivo, en nuestro país se han presentado algunas propuestas y todo indica que la implementación de 3G se llevará a cabo, en su primera fase, en las bandas actuales de PCS, las cuales están dentro del conjunto de bandas recomendadas por la UIT para 3G.

Esto permite minimizar la repercusión en otros sistemas y servicios que utilizan otras bandas de 3G y bandas adyacentes a las mismas. Así mismo, en caso de ser necesario asignar nuevas bandas, dentro de las recomendadas por la UIT, existen bandas disponibles en México en el rango de 1710-1850 MHz. También se encontró que la Banda de 2.5-2.69 GHz, no es una opción viable a corto plazo ya que se afectarían los actuales sistemas de MMDS implementados, originando grandes pérdidas a los concesionarios.

A pesar de la posibilidad de asignar nuevas bandas en nuestro país, en este trabajo se postuló la hipótesis de que si las bandas actuales, podrán soportar la demanda de acuerdo a la penetración que existe en México, la cual, comparada con los países más desarrollados encontramos que está muy por detrás de la de ellos. Por lo que, a través de el modelo propuesto, se hicieron los cálculos correspondientes para determinar las necesidades de espectro en México de acuerdo a la penetración durante los años de

2004 a 2010, así como de posibles escenarios que incluyeron diferentes servicios de 3G y situaciones de alta densidad.

De esta forma, se encontró que los 190 MHz que están asignados actualmente serían suficientes para soportar la demanda de acuerdo a las características de los sistemas de 3G identificadas por la UIT de acuerdo a nuestros cálculos y suposiciones. Dicho espectro está dentro de las bandas recomendadas por la UIT para la implementación de 3G, lo cual permitirá a los operadores actuales tener una evolución adecuada de 2G a 3G en sus bandas actuales.

Debido a que los parámetros y algunos otros datos utilizados pueden variar debido a que aún se están implementando los primeros sistemas de 3G, el resultado obtenido no debe considerarse como una respuesta absoluta a las futuras necesidades de espectro en nuestro país. Sin embargo, este trabajo permite tener un panorama claro de las necesidades de espectro así como tener una base para la adecuada asignación de las nuevas bandas en un futuro cercano.

## **6.2. Trabajos Futuros**

Entre las propuestas para desarrollar trabajos futuros derivados de este trabajo tenemos los siguientes:

- Estudio sobre el impacto en los operadores al no abrirse nuevas bandas de frecuencia en un futuro cercano.
- Estudio sobre la factibilidad de la entrada de nuevos operadores ante la apertura de nuevas bandas de frecuencia.
- Estudio y análisis de las bandas para cuarta generación 4G de telefonía celular.
- Confrontación del modelo con los planes de negocio y crecimiento de las compañías en México.

## **Bibliografía**

Andersson, Christopher, "GPRS and 3G Wireless Applications: professional development guide", John Wiley & Sons, 2001.

BrodsKy, Ira, "Wireless: the revolution in personal telecommunications", Artech House Mobile Communications Series, 1995.

CITEL, Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, <http://www.citel.oas.org/>

Clapton, Alan, "Future Mobile Networks: 3G and Beyond", BT Exact Technologies, 2001.

CDMA Development Group, "GSM or CDMA: The Commercial and Technology Challenges for TDMA Operators", 2001.

COFETEL, Comisión Federal de Telecomunicaciones; URL: <http://www.cofetel.gob.mx/>, Marzo 2003.

EMC World Cellular Data Base

FCC, Federal Communication Commission; <http://www.fcc.gov/>

FCC, "Final Report, Spectrum Study of the 2500-2690 MHz Band", 2001.

Finneran, Michael, "Navigating the two roads to 3G", Business Communications Review, Enero, 2003.

Frits Schoute, "The power of the Erlang Formula",  
<http://mmc.et.tudelft.nl/~frits/Erlang.htm>

Garg, Vijay K., "Wireless Network Evolution, 2G to 3G", Prentice Hall, 2002.

Halonen Timo, Javier Romero, Juan Melero, "GSM, GPRS and EDGE performance, Evolution towards 3G/UMTS", John Wiley & Sons, 2002.

Harmer, J.A., C.D. Friel, "3G Products, what will technology enable", BT Technological Journal, Broadband Applications, Vol. 19, Enero 2001.

Holma, Harri, Antti Toskala; "WCDMA for UMTS: Radio Access for Third generation Mobile Communications"; John Wiley & Sons, Ltd, Julio 2002;

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2004, <http://www.inegi.gob.mx>

Iusacell, Corporativo, 2004, <http://www.iusacell.com.mx>

Jeziersky Andrei, Sajai Krishnan, "3G: How do we get there from here?", Business Communications Review, Enero 2003.

Korhonen, Juha, "Introduction to 3G Mobile Communications", Artech House Mobile Communications Series, 2001.

Montoya, Pablo, "Una perspectiva de los Sistemas de Comunicación Personal, un Estado Exploratorio", Tesis Maestría ITESM, 1996.

OECD, "Basic Structural Statistics", <http://www.oecd.org/dataoecd/8/4/1874420.pdf>

Pandya, Raj; "Mobile and Personal Communications Systems and Services"; IEEE Press 1999.

Pyramid Research, "Communications Markets in Mexico", 2003.

Ralph, D. T., "3G and Beyond, the applications generation", BT Technological Journal, Broadband Applications, Vol. 20, Enero 2002.

Rao, Y.S.; "Spectrum allocation in 2GHz band with easy transition to IMT-2000 (3G) mobile services in India"; International Conference on Personal Wireless Communication, 1999, IEEE.

Rao, Y.S., Wing-Cheong Yeung, Kripalani A.; "Third-generation (3G) radio access standards"; International Conference on Communication Technology Proceedings, 2000. WCC-ICCT 2000, IEEE.

Steel Raymond; "Beyond 3G", International Zurich Seminar on Broadband Communications, 2000. Proceedings. 2000. IEEE.

Steel Raymond, Chin Chun Lee, Peter Gould, "GSM, cdmaOne and 3G Systems", John Wiley & Sons, 2001.

Telcel, Corporativo, "Historia", 2004. <http://www.telcel.com>

Telefónica Movistar, 2004, <http://www.telefonica.com.mx>

UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, <http://www.itu.com>

UMTS-FORUM, "Evolution to 3G/UMTS Services", Agosto 2002. [http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/MultiMedia\\_PDFs\\_UMTSF-White-Paper-1.pdf](http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/MultiMedia_PDFs_UMTSF-White-Paper-1.pdf)

UMTS-FORUM, "UMTS/IMT-2000 Spectrum"; [http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/Resources\\_Reports\\_06\\_index](http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/Resources_Reports_06_index)

Unefon, Corporativo, 2004, <http://www.unefon.com.mx>

Webb, William, "The Future of Wireless Communications", Artech House Mobile Communications Series, 2001.

Withers, David, "Radio Spectrum Management", Institution of Electrical Engineers, 1999.

