



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **PARTICIPACIÓN DE LOS SATÉLITES EN UMTS**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES  
P R E S E N T A :  
**AÍDA ZAVALA AYALA**



**DIRECTOR DE TESIS: DR. SALVADOR LANDEROS AYALA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**2004**

A mis profesores,  
Al Dr. Salvador Landeros Ayala.

A nuestra Universidad

A mi papá Héctor Zavala, a mi mamá Argelia Ayala  
y a Hugo Cruz por estar siempre cerca de mi.

Gracias

# ÍNDICE

1. Introducción .....	5
2. Historia de la telefonía móvil .....	9
Sistemas de PMR .....	9
Sistema PMT .....	10
Telefonía celular en México .....	15
Referencias .....	15
3. Bases teóricas de UMTS .....	16
Generaciones de telefonía móvil .....	18
Objetivos básicos de IMT-2000 .....	19
Estandarización de los sistemas 3G .....	20
Plan de evolución para GSM hacia UMTS .....	23
HSCSD .....	24
GPRS .....	25
EDGE .....	26
Servicios de UMTS .....	26
Arquitectura de UMTS .....	31
Arquitectura simplificada de GSM .....	32
Nuevos elementos en la arquitectura de UMTS .....	35
Estructura celular .....	37
Referencias .....	39
4. Redes satélites .....	40
Tipos de orbitas y sus características .....	40
Órbita Geoestacionaria (GEO) .....	40
Órbita Heliosíncrona (HEO) .....	41
Órbita Media (MEO) .....	41
Órbita Baja (LEO) .....	41
Cálculo del número de satélites necesarios para ofrecer cobertura global dependiendo de la altura .....	44
Sistemas móviles vía satélite .....	47
Sistemas de telefonía móvil vía satélite operativos .....	48
Constelaciones de satélites .....	49
Sistema INMARSAT (GEO) .....	50
Sistema ICO (MEO) .....	53
Sistema GLOBALSTAR (LEO) .....	59
Referencias .....	62

5. Componente satelital de UMTS .....	63
SW-CDMA .....	66
Arquitectura .....	67
Estructura de canales .....	67
Constelación y satélites .....	68
Descripción del sistema .....	68
Características del servicio .....	68
Características del sistema .....	69
SW/CTDMA .....	69
Arquitectura .....	70
Estructura de canales .....	70
Constelación y satélites .....	71
Descripción del sistema .....	72
Características del servicio .....	72
Características del sistema .....	72
Diversidad de satélite .....	72
Operación en modo F/TDD .....	73
SAT-CDMA .....	73
Arquitectura .....	73
Constelación y Satélites .....	73
Descripción del sistema .....	76
Características de los servicios .....	76
Características del sistema .....	76
Trasposos .....	76
Diversidad de satélite .....	77
Especificaciones RF .....	77
ICO .....	78
Arquitectura .....	78
Constelación y Satélites .....	78
Descripción del sistema .....	82
Características del servicio .....	82
Características del sistema .....	82
Especificaciones RF .....	83
INMARSAT (HORIZONS) .....	83
Arquitectura .....	84
Descripción del sistema .....	85
Características del sistema .....	88
Especificaciones RF .....	89
Referencias .....	90
6. Conclusiones .....	91
ANEXO 1. Glosario .....	94
ANEXO 2. Tabla de cálculos para obtener la FIGURA IV.4 .....	97

# I. INTRODUCCIÓN

La iniciativa de tercera generación de la *International telecommunication Union* (ITU) tiene como propósito formar una familia limitada de estándares globales que proporcionen servicios multimedia inalámbricos en todo el mundo, haciendo uso de pico células y mega células de satélites. La iniciativa *International Mobile telecommunications 2000* (IMT-2000) de la ITU ha sido soportada por muchos cuerpos regionales de estandarización, como el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) con *Universal Mobile telecommunications System* (UMTS).

En la última década las redes digitales hicieron que las comunicaciones móviles fueran accesibles para casi todos. Esto ha sido gracias a un temprano uso de un estándar común. Para complementar las redes celulares muchos sistemas se basan en constelaciones de satélites *Low Earth Orbit* (LEO) y *Medium Earth Orbit* (MEO). Estas constelaciones se han estado desarrollando para ofrecer comunicaciones móviles personales.

Pero esto es sólo el principio, en años recientes el estallido de Internet y el éxito que ha tenido la segunda generación de telefonía móvil han hecho que los servicios multimedia móviles sean más demandados día con día en todo el mundo. Mientras las redes digitales de segunda generación pueden hacer frente a una gran variedad de requerimientos, el limitado ancho de banda hace que estas redes sean inadecuadas para aplicaciones de alta velocidad. Esta limitación era más severa en el caso de la primera generación. Para satisfacer estas necesidades de alta velocidad de los usuarios es necesaria una nueva red de comunicaciones móviles. Este nuevo sistema global de comunicaciones móviles, UMTS o IMT-2000, está pensado ser implementado a principios de este siglo. Los principales servicios que se pretenden ofrecer son:

- Integración de servicios en residencias, en oficinas, servicios móviles, etc. dentro de un sólo sistema basado en un sólo equipo de usuario.
- Capacidad de servicios de multimedia.
- Un único número de suscripción independiente de la red y del servicio que se este utilizando.
- Alcance y capacidad de servir al más del 50% de la población.
- Integración con la componente satelital

La componente satelital, *satellite UMTS* (S-UMTS), de UMTS permitirá una cobertura global. Más específicamente los principales objetivos de la componente satelital son:

- Cobertura mundial para los usuarios de UMTS.
- Proporcionar una calidad de servicio semejante a la que ofrecen las redes terrestres.
- Proveer un desarrollo rápido y viable económicamente de los servicios de UMTS sobre las regiones geográficas grandes, así como también aumentar el desarrollo en los servicios de telecomunicaciones en países en desarrollo.

La tecnología seleccionada para los sistemas inalámbricos terrestres de tercera generación dio un gran impulso en las industrias y en la competencia de las ventajas de los clientes. De hecho, las inversiones que realizarán se justifican por el gran tamaño del mercado de IMT-2000 que permitirá un bajo costo en los equipos de usuario. La compatibilidad que halla entre la tecnología de transmisión radio satélite y el componente terrestre de IMT-2000 será un factor clave para poder ofrecer terminales de usuario a bajo costo, de tamaño pequeño y duales.

Un requisito clave para los sistemas de tercera generación es la flexibilidad de servicios. Los servicios de tercera generación se definen en términos de la capacidad de transporte, la calidad, y el tiempo de retardo.

El requisito para la S-UMTS en términos de la capacidad de transporte es que al menos pueda ofrecer una tasa de bit de 144 Kb/s, se pueden usar desde las bandas S hasta las bandas Ku o Ka). Esta tasa de bit se considera suficiente para ofrecer aplicaciones de multimedia. En cuanto a la calidad de servicio y el retardo los requisitos son: para servicios de voz se desea una *Bit Error Rate* (BER) de  $10^{-3}$  y un retardo máximo de 400 ms, mientras que para aplicaciones de datos se necesita una BER de  $10^{-6}$  y un retardo máximo de 400 ms. Se han considerado diferentes tiempos para diferentes clases de servicios (pocos segundos para el acceso a Internet y unos minutos para la entrega de e-mail).

Los sistemas S-UMTS deberán de ser capaces de adaptarse a las aplicaciones existentes en este momento y a las futuras aplicaciones. De esto, se derivan tres requisitos básicos:

- Flexibilidad en términos de ofrecer una tasa de bit antes y durante la llamada (servicios de tasa variable)
- Flexibilidad en términos de proporcionar un BER para un servicio de conexión particular.
- Flexibilidad en términos de retraso de entrega.

La componente satelital no sólo esta pensada para complementar la cobertura de la componente terrestre, sino que también ofrece la posibilidad de extender los servicios de UMTS.

S-UMTS esta contemplado para complementar a su contraparte terrestre. Los ambientes de operación son de cualquier forma complementarios por naturaleza. El ambiente de operación de UMTS en términos generales se puede separar en las siguientes seis categorías.

<b>Entorno de operación</b>	<b>T-UMTS</b>	<b>S-UMTS</b>
Marítimo	×	✓
Aeronáutico	×	✓
Rural	×	✓
Open highway	✓	✓
Suburbano	✓	✓
Urbano	✓	×
Indoor	✓	×

TABLA I.1. *Entornos de operación de UMTS.*

Los servicios satelitales (con excepción de los de baja tasa binaria como el paging) serán principalmente proporcionados bajo condiciones de propagación de línea de vista. Los entornos típicos de operación para S-UMTS son de cualquier forma áreas donde proporcionar servicio terrestre no es técnica o económicamente viables.

Los terminales de S-UMTS son manejados por el conjunto de servicios requeridos. Parecido al caso terrestre, un rango de tipos de terminales con diferentes capacidades cumplirían mejor la variedad de los requisitos del usuario. Sin embargo, en vista de las restricciones debidas al terminal y la tecnología satelital además de las implicaciones de seguridad, es muy probable que las terminales S-UMTS sean diferentes a las terrestres, particularmente con respecto al tipo de antena y la batería utilizadas. Tipos diferentes de terminales son asociados con diversas clases de movilidad y a diferentes tasas de transmisión.

<b>Tipo de terminal</b>	<b>Tasa de transmisión (Kb/s)</b>	<b>Movilidad</b>
Portátiles (cuasi estáticos)	144	nada
Palmtop	64	muy lenta
Handheld	Arriba de 32	lenta
Vehicular	64-144	alta
Aeronáutico	144	muy alta
Marítimo	144	media

TABLA I.2. *Tipos de terminal de UMTS*

Es importante destacar que en el caso vehicular, aeronáutico y marítimo será necesaria una antena externa.

---

Comúnmente S-UMTS en términos de la banda de frecuencia y la tecnología de la interfaz aire pueden reducir mucho la complejidad del terminal en cuanto a tamaño y peso. Un terminal modo dual (terrestre y satélite) eventualmente deberá tener un costo comparable con un terminal de usuario que opere solo en modo terrestre.

## II. HISTORIA DE LA TELEFONÍA MÓVIL

El reglamento de radiocomunicaciones de la ITU define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrenas fijas, o entre estaciones móviles únicamente.

Las comunicaciones móviles terrestres se fundamentan en sistemas de transmisión por radio células, un sistema celular esta formado por miles de estaciones base o antenas fijas dispersas por todo el territorio. Cada estación base se encarga de tener comunicados con la red a los teléfonos móviles que están en los alrededores. A su vez estas estaciones bases se enlazan con sus propios sistemas de comunicación y transporte muy similares a los sistemas de telecomunicaciones fijos. Las redes celulares están conectadas con el resto de las redes de comunicaciones, de tal manera que las llamadas puedan originarse o terminarse entre ellas.

Existen varias razones para instalar miles de estaciones bases de pequeño radio, en vez de unas pocas de gran alcance.

La primera es la capacidad del sistema. Como sólo se puede emplear unas decenas de canales radio para comunicaciones móviles, entonces se tiene que usar el mismo canal radio a la vez en distintos lugares, es decir, en distintas células. A esto se le llama reutilización de frecuencia.

Otras razones son las bandas de frecuencia utilizadas y la potencia de transmisión. Existen servicios como la radio comercial, que trabajan en frecuencias bajas; estas frecuencias penetran mejor en los edificios. Además, como no son celulares y son unidireccionales (difusión simplex), se puede transmitir con mucha potencia.

Los sistemas móviles funcionan a frecuencias más altas, que no tienen una buena penetración en edificios, además los teléfonos móviles deben de transmitir a muy poca potencia, por motivos de salud y para evitar interferencias. La única manera de poder ofrecer cobertura, transmitiendo con poca potencia, es disponer siempre de una estación base cerca de donde se encuentre el teléfono móvil para que la señal llegue con nitidez. El tercer motivo es tener una buena cobertura sin sombras.

### SISTEMAS DE PMR

Puede decirse que el desarrollo de las comunicaciones móviles terrestres se inicia a finales de la década de los años 20 cuando la policía de Detroit puso en marcha un sistema unidireccional de aviso a vehículos policiales que utilizaba modulación de amplitud.

En 1931 aparece ya un sistema de comunicaciones bidireccional y en años sucesivos se extienden las redes móviles a entidades responsables de servicios públicos asistenciales (policía, bomberos, etc.).

La invención de la modulación de frecuencia junto con el dominio de las tecnologías de Radio Frecuencia (RF) logrado en los años 40, como consecuencia de necesidades militares, actuaron de agentes impulsores para el crecimiento y perfeccionamiento de los sistemas de comunicaciones móviles.

Las comunicaciones del tipo *Private Mobile Radio* (PMR) crecen rápidamente a partir de los años 50, abarcando cada vez más aplicaciones y usuarios. Se desarrollan técnicas de señalización por tonos (CTCSS, SELLCALL) que, aunque limitadas, proporcionan prestaciones útiles a los sistemas, tales como la llamada selectiva o la utilización compartida de los recursos e infraestructura. Por otro lado, las mejoras tecnológicas permiten una reducción progresiva de la canalización desde 100 KHz a 25 y 12.5 KHz con lo cual aumenta la capacidad de las bandas de frecuencias.

La pauta evolutiva de los sistemas PMR la ha venido marcando el desarrollo del control. De los primeros métodos de señalización y control con corriente continua y tonos se ha pasado a la señalización digital. Ello unido a los progresos de la microelectrónica, ha permitido aplicar al escenario móvil el principio de compartición o concentración de enlaces, típico de los sistemas de telecomunicación por línea.

Aparecen así, a principios de la década de los 80, los sistemas móviles troncales (*trunking*) mediante los cuales un colectivo de usuarios puede acceder a todos los canales disponibles, lo que conlleva un aumento importante de la capacidad de tráfico del sistema y de su eficiencia espectral. En los primeros sistemas, la señalización es digital y la voz se transmite con modulación analógica.

Recientemente, se ha puesto a punto un estándar troncal totalmente digital para voz y datos llamado *Trans European Trunking Radio* (TETRA), con posibilidades de transmisión por paquetes, que constituye hoy en día el punto culminante de la tecnología en PMR.

Otra línea evolutiva importante en PMR es la que se dirige hacia las comunicaciones móviles de datos, muy útiles en aplicaciones de despacho informatizado, así como a sistemas de localización de vehículos (LAV) para control de autobuses.

## SISTEMAS DE PMT

A mediados de los años 60, se puso en funcionamiento en Estados Unidos el sistema *Improved Mobile Telephone System* (IMTS) que incluía el encaminamiento automático de la llamada, explotación dúplex (full-duplex) y marcación directa. De hecho, este sistema introducía en los sistemas de telefonía móvil todas las funciones y características con las que contaban los sistemas de telefonía por línea. Las primeras pruebas de campo se llevaron a cabo en la ciudad de Harrisburg, Pennsylvania, entre 1962 y 1964 y hacia 1965 el servicio IMTS se había establecido en numerosas ciudades de EE UU.

Las realizaciones de IMTS se basaron en disponer estaciones base con gran radio de cobertura (unos 50 km.) y numerosos receptores. Sin embargo, como la dotación de canales no era muy grande (unos 20), el sistema se saturaba con gran facilidad.

La solución a este grave problema aportó el concepto de estructura celular, propuesto en 1947 y que sólo sería realizable hasta 30 años más tarde. Con la técnica celular, en lugar de utilizar una única estación base de gran radio de cobertura, se emplean numerosas estaciones base de baja potencia, cada una de las cuales proporciona servicio a una pequeña zona de cobertura, denominada célula. El sistema permite la reutilización de las mismas frecuencias en células suficientemente separadas para que la interferencia mutua sea tolerable, con lo cual se multiplica la capacidad de una banda de frecuencias.

La aplicación práctica del concepto celular requiere por un lado la disponibilidad de una banda de frecuencias de cierto tamaño y por otro el desarrollo de sistemas de señalización y control complejos para efectuar el seguimiento de las llamadas. Los escasos canales disponibles en la IMTS eran insuficientes para la aplicación celular.

Por consiguiente, fue necesario reservar bandas de frecuencias específicas con un número de canales adecuado para la tecnología celular. El primer sistema celular comenzó a funcionar en 1983, en Chicago, con el nombre de *Advanced Mobile Phone System* (AMPS), en la banda de 800 MHz.

En Europa, la primera norma celular se desarrolló en los países nórdicos (Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca), los cuales en 1981 especificaron el primer sistema móvil celular denominado NMT-450 que trabaja en la banda de 450 MHz. En paralelo, se desarrolló en Gran Bretaña el sistema *Total Access Communications System* (TACS) similar al AMPS, que funciona en la banda de 900 MHz. Posteriormente, los países nórdicos introdujeron también una versión de su sistema en la banda de 900 MHz denominado NMT-900, que presenta facilidades adicionales que le permiten incrementar su capacidad y el uso de equipos portátiles (Hand Held Portables).

En los últimos años, los servicios de comunicaciones móviles han representado el segmento más dinámico y de mayor crecimiento dentro del sector de las telecomunicaciones. Esto ha obligado a las diferentes administraciones a buscar soluciones rápidas a la creciente congestión del espectro y a la necesidad de incrementar notablemente la capacidad de los sistemas.

Los sistemas celulares de primera generación adolecen de la inherente limitación tecnológica para sustentar el concepto celular en toda su amplitud. El alto costo, la reducida eficiencia espectral y los inoperantes estándares de servicio, acotados fundamentalmente por la tecnología analógica en Frecuencia Modulada (FM), obligan a la búsqueda de una tecnología más adecuada.

Por otra parte la coexistencia de estándares incompatibles entre si, utilizados por diferentes naciones, impide que un usuario pueda utilizar su terminal en un país diferente al suyo. También, en estos años, se ha ido imponiendo una política de liberalización que al acentuar la competitividad ha estimulado enormemente el mercado.

Por todo ello, a principios de la década de los 80 se planteó en Europa la necesidad de elaborar un estándar paneuropeo para PMT y a tal fin la *Conference Europeenne des postes et Télécommunications* (CEPT) creó el Grupo de trabajo *Groupe Special Mobile* (GSM), con el mandato de elaborar tal norma, que debería cumplir los siguientes objetivos básicos:

1. Desarrollar un sistema móvil celular para PMT compatible en todos los países integrantes de la CEPT, que permitiera la movilidad de los usuarios por todos esos países.
2. Incrementar la oferta de capacidad de tráfico y de servicios.
3. Utilizar las nuevas tecnologías microelectrónicas y telemáticas.

Una de las primeras decisiones fue la de reservar una banda de frecuencias común y elegir la técnica de multiacceso, que fue la técnica llamada *Time Division Multiple Access* (TDMA). La norma especificó interfaces comunes, dejando amplio campo de diseño para la competitividad de los fabricantes de equipos. El estándar desarrollado se bautizó con el propio nombre del grupo de trabajo, esto es, GSM. Las ventajas que un sistema digital como el GSM aporta sobre sus predecesores analógicos no se limitan a la mayor eficiencia espectral, sino que abarcan otros campos como: mejora de las prestaciones del sistema en términos de calidad de voz, confidencialidad de la información y de la identidad de los abonados, seguridad frente a usos fraudulentos del sistema, introducción de nuevos servicios —entre los que cabe destacar los de datos y el servicio de mensajes cortos (mensajes alfanuméricos que pueden ser vistos por el abonado en su propio terminal— compatibilidad con la red telefónica digital *Integrated services Digital network* (ISDN), cobertura europea (CEPT), economías de escala, acceso a través de tarjeta electrónica (smart-card), etc. A corto plazo, sin embargo, no está pensado que el GSM desplace a los sistemas analógicos actuales, sino que conviva con ellos.

En paralelo al GSM se han definido otros dos sistemas de telefonía móvil digital, el *American Digital* (ADC) con su estándar IS-54 en Estados Unidos y el *Pacific Digital Cellular* (PDC) en Japón. Sin embargo, la implantación del sistema GSM está más avanzada que la de los otros, por lo que se está imponiendo en países árabes, del sudeste asiático, Australia, etc., lo que hace que haya cambiado el significado de sus siglas, convirtiéndose en *Global System for Mobile Communications*.

El sistema GSM está creciendo a un ritmo muy alto y en algunas naciones y ciertos escenarios (grandes áreas urbanas comerciales y de negocios), se empiezan ya a saturar las frecuencias disponibles, por lo que se están comenzando a habilitar células de pequeñas dimensiones (microcélulas) con intensa reutilización de las frecuencias y terminales de potencia reducida, livianos y de tamaño pequeño.

Para estas aplicaciones se ha desarrollado el estándar DCS-1800, similar al GSM, que funciona en la banda de 1800MHz y que puede considerarse el preludio de lo que

serán los futuros sistemas y redes de comunicaciones personales llamadas *Personal Communication Network* (PCN).

El fuerte impacto que ha tenido el *roaming* internacional, la globalización de la economía, las ventajas de tener estándares comunes son razones por las que se pretende desarrollar un estándar común para la tercera generación de comunicaciones móviles. Este proceso es difícil y lento debido a los intereses de cada nación, por ejemplo, Estados Unidos ( y la zona de libre comercio), la Unión Europea y los países vecinos y Japón con su área de influencia.

La ITU reservó, en el ámbito mundial, determinadas bandas de frecuencias que serán utilizadas para los servicios de comunicaciones celulares de tercera generación, que se prevén móviles y fijos. Actualmente se reconoce que la banda que fue asignada inicialmente no es suficiente, por lo que se ha trabajado para ampliarla mundialmente.

Actualmente existen tres propuestas para implementar IMT-2000:

- 1) UMTS propuesto por el ETSI
- 2) CDMA ONE 2000 propuesto por el ANSI
- 3) UWC-136

Japón definió su propio estándar llamado *Japan Future Public Land Mobile Telecommunications Services* (J-FPLMTS).

Lo más probable es que al final existan varios estándares, repartidos por zonas de influencia. En lo que todos están de acuerdo es que el nuevo sistema deberá permitir grandes velocidades de transmisión y que deberá ser universal, es decir, compatible con todas las redes terrestres y por satélite sin necesidad de tener que realizar conversiones de protocolos ni de usar diferentes equipos.

<b>Año</b>	<b>Evento</b>
<b>1947</b>	Los laboratorios AT&T Bell desarrollaron el concepto celular y la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) comenzó a planificar el servicio de telefonía celular.
<b>1962</b>	Se presentó el servicio móvil mejorado, que brindó solo una pequeña mejora en calidad. No aumentó el número de canales dedicados a comunicaciones móviles, por consiguiente persistieron los problemas de líneas ocupadas y limitaciones en servicio.
<b>1970</b>	La FCC reservó nuevas frecuencias radiales para el uso exclusivo de comunicaciones móviles.

<b>1971</b>	Los laboratorios AT&T Bell sometieron una propuesta para servicios de teléfonos celulares llamado Servicio de Teléfono Móvil Avanzado (AMPS, Advance Mobile Phone Service).
<b>1978</b>	Un sistema experimental de servicio celular se puso en vigor en Chicago, brindando servicio a unos 2000 clientes.
<b>1981</b>	La FCC aprobó el concepto del servicio de telefonía celular. También se determinó que existiría competencia de dos compañías celulares en cada mercado. Una de las licencias se reservaría para la telefonía local.
<b>1982</b>	La FCC comenzó a aceptar solicitudes para las 60 áreas metropolitanas de servicio más grandes de Estados Unidos.
<b>1983</b>	Motorola fabricó el primer teléfono móvil para uso comercial. El primer sistema celular debuto en octubre de este año en Chicago.
<b>1984</b>	Se formó la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones Celulares (CTIA), quien actualmente es la voz de la industria celular.
<b>1985</b>	Chile inicio el servicio de telefonía celular.
<b>1989</b>	Movicom inicia el servicio de telefonía celular en Argentina.
<b>1990</b>	Se inicia el servicio de telefonía celular en México.
<b>1991</b>	La industria celular aceptó el concepto de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), como el método a usarse en el aumento de capacidad a través de la tecnología digital.
<b>1993</b>	El primer sistema TDMA celular y completamente digital, comenzó a funcionar en el sur de la Florida en abril de ese año. Ecuador inicia su sistema de telefonía celular
<b>1994</b>	Con Celumovil en Colombia, comienza el primer sistema celular TDMA, completamente digital, de América Latina.

TABLA II.1. Fechas importantes de la Telefonía Celular.

## LA TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

El 6 de Octubre de 1955 se forma la empresa Servicio Organizado Secretarial (S.O.S.), empresa de radiocomunicación móvil que contribuyó al florecimiento de la naciente industria mexicana de las telecomunicaciones.

Ante la creciente necesidad del mercado de contar con mayor calidad y servicio en la comunicación inalámbrica, S.O.S. capitaliza los avances tecnológicos a nivel mundial. Así nace en 1989 IUSACELL, la primera compañía en brindar el servicio de telefonía celular en la Ciudad de México.

Como resultado del proceso de expansión de IUSACELL, basado en la innovación de sus productos y servicios, en la creciente necesidad de contar con mejores formas de comunicación y en la experiencia y visión de servicio de sus empleados, el 16 de octubre 1992 se conforma GRUPO IUSACELL, principal compañía independiente de Telecomunicaciones en México.

Habiendo comenzado su servicio celular en la región 9 del país, que comprende al Distrito Federal, Morelos, Hidalgo y el Estado de México, para 1993 IUSACELL integra las Regiones 5, 6 y 7, abarcando al 70% de la población nacional.

La telefonía celular en México es un mercado atractivo, debido al gran incremento en la demanda. La Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) estima que en el año 2003 hay aproximadamente 19 millones de abonados y que la cifra se elevará a 30 millones para el 2004. No es extraño, por eso, que los jugadores tradicionales de la telefonía móvil mexicana, como Telcel, Pegaso y Unefon, estén enfrentando la llegada de competidores extranjeros de alto nivel: el grupo español Telefónica y el inglés Vodafone. Ante esto, las estrategias cambian y se anuncian posibles alianzas y compras cruciales para cada uno de los participantes.

La compañía de telefonía celular Telcel esta migrando a GSM que es el estándar de segunda generación de telefonía móvil europeo. En unos años se implantará en México la tercera generación de telefonía celular y esta puede ser mediante el estándar europeo UMTS.

## REFERENCIAS

- [http://www.latamnews.com/telefiniacelularmexico\\_050702.html](http://www.latamnews.com/telefiniacelularmexico_050702.html)
- [http://www.cft.gob.mx/html/3\\_con/consu/celular.html](http://www.cft.gob.mx/html/3_con/consu/celular.html)
- <http://www.netmedia.info/netmedia/articulos.php>
- <http://www.revistapoder.com/NR/exeres/C3BAE1D6-8A35-481F-815B-1294951537D0.htm>
- [http://www.ericsson.com.mx/about/telecomunicaciones\\_mexico.shtml](http://www.ericsson.com.mx/about/telecomunicaciones_mexico.shtml)
- <http://proton.ucting.udg.mx/home/marianop/web-docs/celular.htm>
- <http://www.revistapoder.com/NR/exeres/527EAF07-88C3-4A13-9A6E-AA3BB7D45B81.htm>
- [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_noticias.asp?u\\_action=display&u\\_log=139](http://www.umtsforum.net/mostrar_noticias.asp?u_action=display&u_log=139)
- <http://www.latinexpo.com/@celumovil/perfil/celular1.htm>

### III. BASES TEÓRICAS DE UMTS

En los últimos tiempos, la telefonía móvil ha tenido un crecimiento muy importante, y prueba de esto es el número de usuarios que utilizan este servicio, a finales del año 2000 existían 650 millones de usuarios de telefonía móvil en todo el mundo y se espera que para fines del 2004 haya mil millones de usuarios. La demanda de la telefonía móvil además de ser cuantitativa (mayor intensidad de tráfico) es cualitativa (nuevos escenarios de comunicación, por ejemplo, en áreas rurales, en alta mar, mayor personalización, etc.) y la tecnología actual no ha podido satisfacer esta demanda, en parte por las limitaciones de las redes de comunicaciones y por otro lado, los sistemas de comunicaciones móviles de primera (analógica) y segunda (digitales) generación no estaban concebidos para funcionar a nivel mundial sino más bien a nivel nacional o regional. A esto se suma la gran variedad de estándares de comunicaciones móviles existentes hoy en día, distribuidos en todo el mundo como GSM, CDMA, AMPS, TDMA y DECT. Estas tecnologías no son compatibles entre sí, por lo que la utilización de un único terminal en estas redes es imposible, así como también el roaming internacional.

El mundo de las comunicaciones evoluciona rápidamente de la mano de sistemas móviles como GSM y de fenómenos más globales como Internet bajo el impulso de los desarrollos tecnológicos y las políticas de fomento de la competencia. La demanda de los usuarios crece y se hace más compleja y para satisfacerla es necesario mejorar la tecnología de banda ancha terrestre, celular y por satélite con sistemas como IMT-2000 que garanticen el acceso, con servicios que abarquen desde la telefonía básica hasta multimedia de alta calidad, cualquiera que sea la ubicación de usuario. Debido a esto se piensa cada vez más en el establecimiento de recursos de comunicaciones móviles para dar servicio de telecomunicaciones fijas y móviles a países nuevos y en desarrollo que carecen de infraestructura de telecomunicaciones.

Por todo ello, y a la vista de la rápida evolución de los sistemas de comunicaciones móviles, se decidió en la ITU encomendar a su sector de radiocomunicaciones, ITU-R, el estudio y desarrollo normativo de un sistema global que reuniera las características, prestaciones y facilidades de los sistemas móviles de segunda generación y añadiera nuevas características. A tal sistema se le llamó inicialmente *Future Public Mobile Telecommunication System* (FPLMTS). Recientemente se le ha cambiado el nombre por IMT-2000.

Puede definirse IMT-2000 como una familia de sistemas móviles de tercera generación en los que se pretende unificar los distintos sistemas existentes hoy en día en una

estructura radioeléctrica capaz de ofrecer una amplia gama de servicios a principios del siglo XXI en múltiples entornos operativos.

Como la evolución de las comunicaciones móviles apunta al concepto de globalización y personalización, IMT-2000 se propone, como principio básico, el diseño de un sistema que permita el establecimiento de comunicaciones entre terminales personales en todo el mundo y en todo momento.

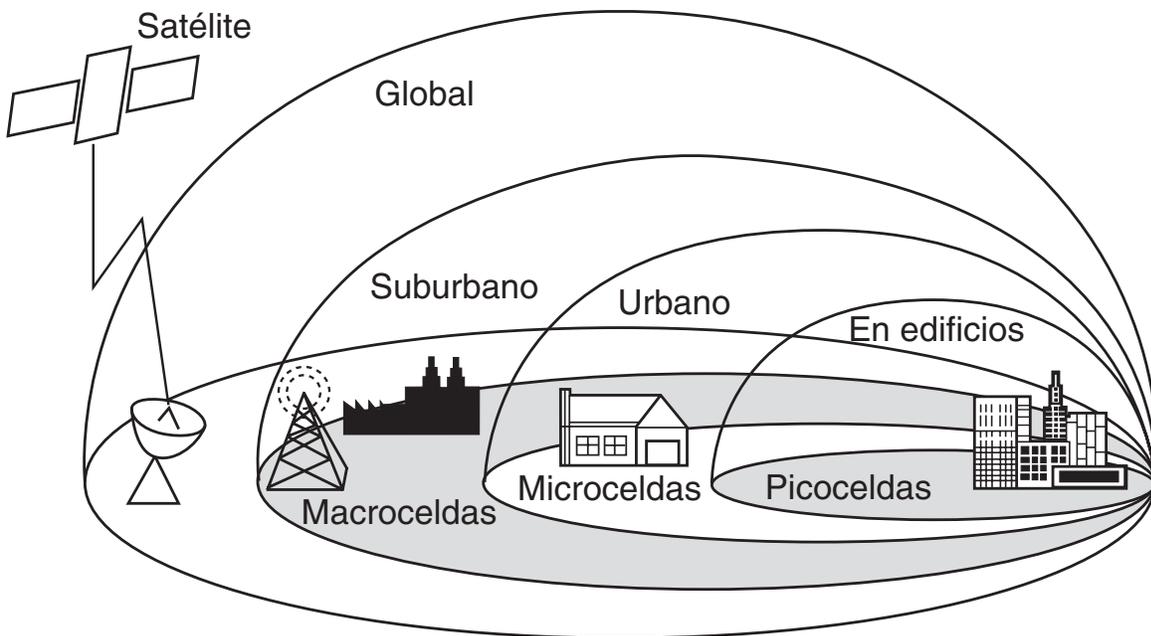


FIGURA III.1. *Covertura de IMT-2000.*

Se ha prestado una atención especial a la posibilidad de utilizar IMT-2000 para la prestación de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales y remotas, así como en los países pequeños y en desarrollo, para los cuales estos sistemas podrían ser una solución de rápida implantación a sus necesidades de comunicaciones fijas y móviles.

La estrecha relación entre la componente terrestre y la componente satelital prevista en IMT-2000 permitirá el desarrollo de algunos servicios inicialmente a través de satélites cuando no exista infraestructura terrestre o ésta sea insuficiente, pasando al modo terrestre de forma paulatina a medida que lo permitan los niveles de desarrollo.

Desde el punto de vista físico IMT-2000 se compone de un nuevo interfaz aérea y nuevos componentes radio. El objetivo es combinarlos de forma modular con nuevos componentes de red y con componentes de redes fijas y móviles pre IMT-2000 siempre que se hayan evolucionado. De esta manera los nuevos operadores podrán establecer redes IMT-2000 y se permitirá a los operadores actuales una migración suave al poder reutilizar al máximo parte de su infraestructura.

Para el usuario, IMT-2000 proporcionará terminales adaptativas, multimodo y multibanda que permitan una itinerancia global y con sistemas de segunda generación.

IMT-2000 proporciona diferentes tipos de movilidad. La movilidad de terminal significa que el usuario recibirá servicio mientras se desplace. La movilidad personal permite que un usuario no se vea restringido a usar una terminal específica cuando desea acceso al servicio. Los aspectos más importantes en este sentido son la itinerancia basada en tarjeta inteligente y la provisión del *Virtual Home Environment* (VHE), entorno de hogar virtual. VHE significa que el usuario tendrá el mismo interfaz y entorno de servicio independientemente de dónde se encuentre. Otro aspecto es la capacidad de un usuario de registrarse a diferentes servicios sobre terminales distintos. La movilidad de servicio significa que un usuario puede acceder a sus servicios personalizados con independencia de la terminal y de la red de servicio.

Desde el punto de vista del usuario se requiere la provisión transparente de servicios, que es la posibilidad de acceder a los mismos servicios en diferentes redes, fijas, móviles y por satélite. Esta transparencia debe asegurarse en las redes pre IMT-2000 que se conecten a IMT-2000.

#### GENERACIONES DE TELEFONÍA MÓVIL

Mirando un poco hacia atrás, se observa que la industria de comunicaciones móviles ha evolucionado en tres etapas, con cada generación más fiable y flexible que la anterior.

La primera generación (1G) fue analógica y limitada en capacidad de roaming, permitía solamente llamadas de voz con baja calidad y los teléfonos se diseñaron para uso en vehículos. AMPS fue el principal estándar de primera generación y se desarrolló entre 1982 y 1992. El sistema analógico empleado en Europa, el TACS (*Total Access Communications System*), se basa en AMPS.

La segunda generación móvil (2G), corresponde a los sistemas actualmente en uso como GSM, CDMA ONE y TDMA, también llamado D-AMPS por ser la versión digital de AMPS. Son sistemas digitales con técnicas avanzadas de uso del espectro radioeléctrico y con capacidades de roaming mejoradas. Se basan en un ancho de banda de 9.6 Kbits/s para datos y fax. Significa un incremento en la capacidad de la red, reducción de tarifas y los primeros servicios de valor añadido, como son los mensajes cortos SMS.

A la generación intermedia entre la 2G y la 3G se le denomina 2.5G, y corresponde a mejoras tecnológicas en las redes 2G actuales con tendencia a convertirse en 3G, con una velocidad que puede llegar hasta los 384 kbits/s, ya adecuada para muchas aplicaciones multimedia.

Las futuras generaciones de comunicaciones móviles, llamada 3G, significa un salto enorme respecto a los sistemas actuales. Esta pensada para roaming global, transmisión de datos a alta velocidad con técnicas de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, soporta tecnología IP y ATM lo que posibilita el acceso a Internet, y en

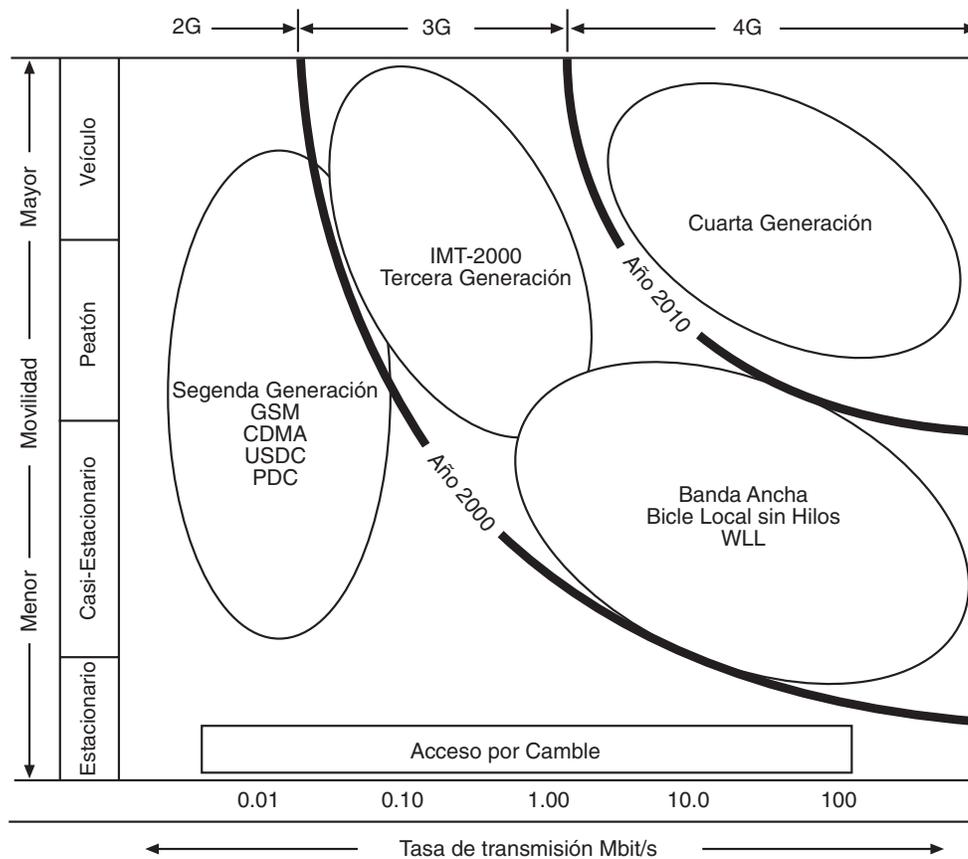


Figura III.2. Integración entre los sistemas de comunicaciones móviles de 2G, 3G y 4G.

general aplicaciones multimedia móviles, con servicios personalizados y basados en la localización de los usuarios.

#### OBJETIVOS BÁSICOS DE DE IMT-2000

Los objetivos básicos de IMT-2000 pueden clasificarse en tres grandes grupos:

Objetivos generales:

1. Proporcionar servicios de telecomunicación a usuarios móviles, con intinerancia internacional, en una amplia zona geográfica y para elevadas densidades de usuarios.
2. Utilizar el espectro radioeléctrico de una manera eficaz y económica con prestación de los servicios a un precio razonable.
3. Proporcionar los servicios con grados de calidad y fiabilidad comparados con los proporcionados por la red fija.
4. Acomodar una amplia gama de terminales desde los portátiles (de bolsillo) hasta los instalados en vehículos.

5. Proporcionar el acceso a otras redes fijas y móviles, admitiendo la prestación del servicio por más de un red en cualquier zona de cobertura.
6. Poseer una arquitectura abierta que permita la introducción de los adelantos tecnológicos así como aplicaciones diferentes.
7. Poseer una estructura modular para poder configurar inicialmente las redes con sus capacidades iniciales necesarias, mejorándolas después, si es preciso, hasta llegar a una red con elevado grado de personalización.
8. Flexibilidad de operación en un entorno técnicamente complejo, con conexión en cascada con redes de diferentes tipos, sujeto a competencia entre proveedores y operadores de redes y con gran variedad de terminales personales.

#### Objetivos técnicos:

1. Permitir la comunicación y señalización integradas. Las interfaces de señalización se basarán en el modelo OSI.
2. Proporcionar elevados niveles de seguridad y confidencialidad, con el cifrado extremo a extremo de la información transmitida.
3. Proporcionar una flexibilidad que permita acomodar múltiples servicios: telefonía, radiobúsqueda, transmisión de datos o cualquier combinación de éstos, con interfaces polivalentes para conexión de diferentes equipos terminales.
4. Permitir la conexión de centralitas PABX o rurales a las estaciones móviles.
5. Acomodar el uso de repetidores para salvar largas distancias entre terminales y estaciones base.

#### Objetivos de explotación:

1. Proporcionar funciones de autenticación de usuarios e identificación de equipos.
2. Permitir que los usuarios móviles soliciten determinados servicios e inicien y reciban llamadas libres o restringidas.
3. Permitir que el sistema se configure para condiciones especiales en las que no se requiera la movilidad entre células (o incluso dentro de una célula), o en las que deba atenderse una elevada intensidad de tráfico por usuario.
4. Tener en cuenta las necesidades de comunicaciones de los sistemas de control y gestión de tráfico rodado.
5. Permitir la ampliación de las dimensiones celulares en zonas rurales o remotas.

### ESTANDARIZACIÓN DE LOS SISTEMAS 3G.

A finales de los años 80 se comenzó a estandarizar un sistema de comunicaciones móviles globales en la ITU. Este estándar al principio fue llamado futuro sistema pú-

blico de comunicaciones terrestres, FPLMTS. La evolución del concepto hizo que se le cambiara el nombre a IMT-2000, ya que dejó de ser únicamente terrestre incorporando una componente satélite que asegurará la cobertura global y el servicio de telefonía básica se extendió a servicios multimedia en general. El número 2000 hace referencia por una parte al uso de la banda de frecuencias que se encuentra alrededor de los 2000MHz.

Un papel importante de la ITU fue el desarrollo de los procedimientos y acuerdos que permiten la coordinación del uso del espectro radioeléctrico a nivel mundial. Este aspecto es clave, ya que es necesario utilizar la misma banda de frecuencias en todo el mundo. Por otra parte los aspectos regulatorios y políticos se llevan a cabo en la ITU como organismo de Naciones Unidas. Finalmente, la ITU proporciona el entorno que permite catalizar la convergencia hacia un sistema de 3G de las diversas tecnologías propuestas y desarrolladas en las diversas regiones.

Sin duda el primer paso hacia un sistema global de tercera generación se dio con la reserva a nivel mundial de una banda de frecuencias para IMT-2000. Dicha decisión se adoptó en la Asamblea Mundial de Radiocomunicaciones (WRC, *World Radio Conference*) que tuvo lugar en Torremolinos en el año de 1992. Posteriormente, en la WRC-2000 celebrada en Estambul se aprobó una ampliación del espectro disponible para IMT-2000. En la figura siguiente se resume la asignación y uso de las bandas de frecuencias en las diversas regiones.

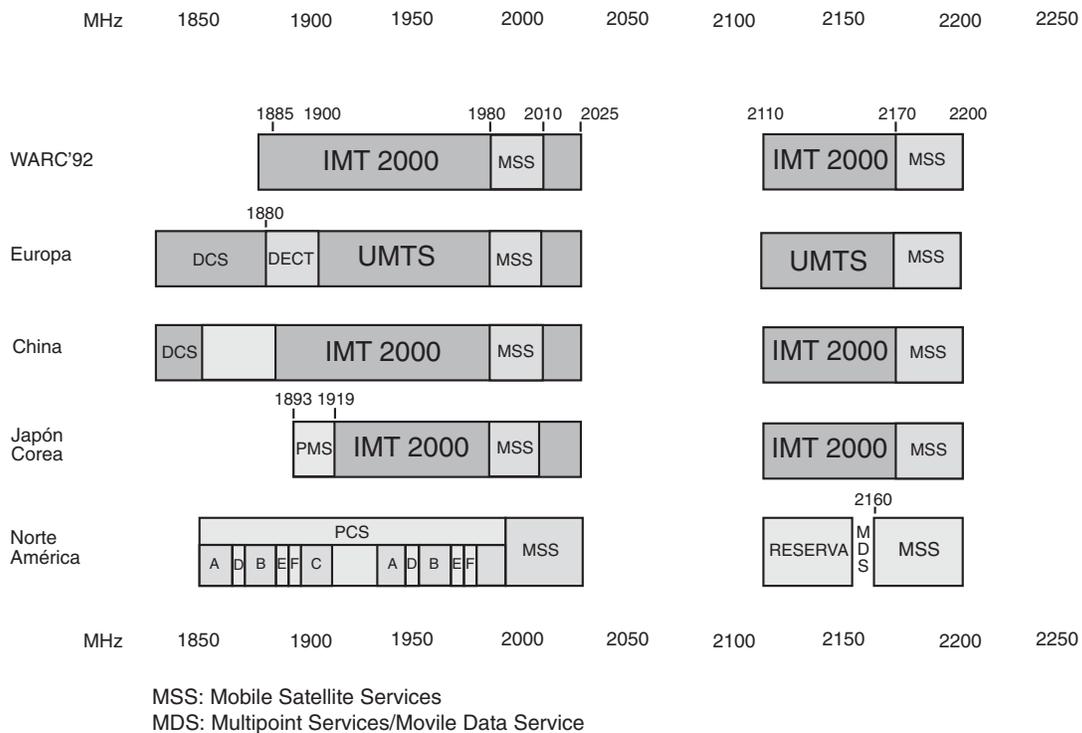


FIGURA III.3. Asignación y uso de las bandas de frecuencia en diferentes regiones.

Se puede ver que el acuerdo de la ITU define bandas pareadas y no pareadas para el componente terrestre (gris oscuro) y para el componente satélite (gris claro).

Además de la ITU ha habido otros organismos como el instituto europeo de estandarización (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*), ARIB, TTA, TTA y otros que trabajan en el desarrollo del estándar IMT-2000. Hubo una primera fase de realización y presentación de propuestas de tecnologías de transmisión radio (RTT, *Radio Transmission Technology*) esta fase concluyó en junio de 1998 con la presentación de 10 propuestas de RTT para el componente terrestre y 6 para el componente satélite.

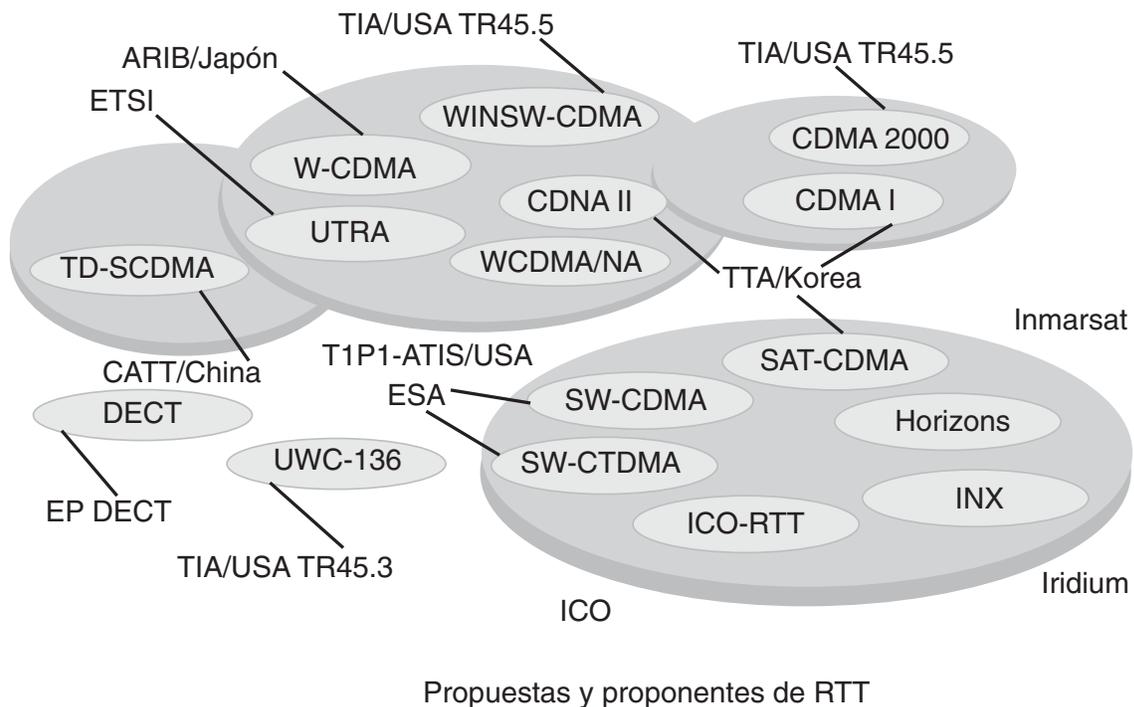


FIGURA III.4. *Propuestas y proponentes de RTT.*

Para el componente terrestre la mayor parte de las tecnologías propuestas se basaron en tecnología de acceso múltiple por división de código (CDMA, *Code Division Multi Access*) y se pueden agrupar en dos partes: CDMA de banda ancha con modos de duplexión en frecuencia (FDD, *Frequency Division Duplex*) y en el tiempo (TDD, *Time Division Duplex*), W-CDMA/UTRA, y CDMA multiportadora (CDMA2000). De las otras propuestas la de DECT permite una evolución del sistema actual y la propuesta UWC-136 es TDMA basada en la evolución convergente de GSM e IS-136 usando el servicio general de radiocomunicación por paquetes, GPRS, y la evolución del sistema general GSM, EDGE.

Respecto a las seis propuestas para la componente satélite fueron muy dispersas desde el punto de vista de la tecnología propuesta. Algunas se basan en la optimización de propuestas CDMA terrestres al entorno satélite (SW-CDMA y SW-CTDMA) y otras basadas en posibles sistemas móviles PCS (el caso de Iridium con INX, Inmarsat con Horizons o ICO con ICO RTT).

La fase de evaluación terminó en octubre de 1998 reconociendo que todas las propuestas cumplían con los requerimientos mínimos de IMT-2000.

La fase de construcción de consensos se encaminó a la convergencia de las propuestas hacia un conjunto lo menor posible de tecnologías, las ventajas de esta minimización de tecnologías radio son varias como la reducción de la barrera para la provisión global de servicio e itinerancia además, de evitar una complejidad innecesaria de las redes y terminales móviles. Esta fase finalizó en marzo de 1999 con la aprobación de una recomendación sobre las características principales de las RTT. El proceso terminó en la reunión de Helsinki en noviembre de 1999 en la que se aprobaron las tecnologías de acceso radio terrestre y satélite.

Las siglas UMTS son la abreviación de *Universal Mobile Telecommunications System*, y constituye la visión europea de sistemas con capacidades 3G como parte de la familia de estándares IMT-2000. UMTS es la evolución lógica de GSM a la tercera generación, por lo que está siendo mayoritariamente adoptado en la Unión Europea.

#### PLAN DE EVOLUCIÓN PARA GSM HACIA UMTS

Mientras llega UMTS se ha desarrollado el plan de evolución de GSM (lo que también se ha denominado la generación 2.5), una nueva funcionalidad multimedia que va más allá de las aplicaciones actuales de transmisión de voz y de datos a 9.6Kbits/s, con lo que el estándar GSM será capaz de soportar hasta 384Kbits/s con movilidad restringida y hasta 115Kbits/s con movilidad total.

Todo empezó con los servicios de mensajes cortos *Short Messages Services* (SMS) y la transmisión de datos desde acceso móvil basada en circuitos, que han permitido introducir servicios básicos de Internet (comercio electrónico o e-mail y servicios de noticias) en el teléfono móvil. Ambos mecanismos presentaron desde el principio el problema técnico para su desarrollo masivo al tener una latencia excesiva y un ancho de banda limitado para cada comunicación (9.6Kbits/s máximo para transmisión de datos sobre GSM y 160 bytes para cada transmisión por SMS).

A pesar de las dificultades, durante estos años se han creado servicios de acceso a información y su uso se incrementa día a día. Los usuarios están dispuestos a usarlos pero les gustaría que fueran más fáciles (limitación en el teléfono), más rápidos (limitación en la red) y más personalizados (limitación en los servicios). Los clientes además demandan más servicios y las capacidades de las redes actuales GSM son limitadas en cuanto al SMS y a las llamadas de datos.

Por tanto comenzaron a ser necesarios mecanismos más rápidos, seguros y fiables de transferencia de información sobre redes GSM, que satisficieran esa demanda creciente de servicios de datos de valor añadido para teléfonos móviles. Para ello el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*), ha desarrollado nuevas tecnologías de datos sobre GSM de segunda generación basadas en conmutación de circuitos, HSCSD y en conmutación de paquetes, GPRS.

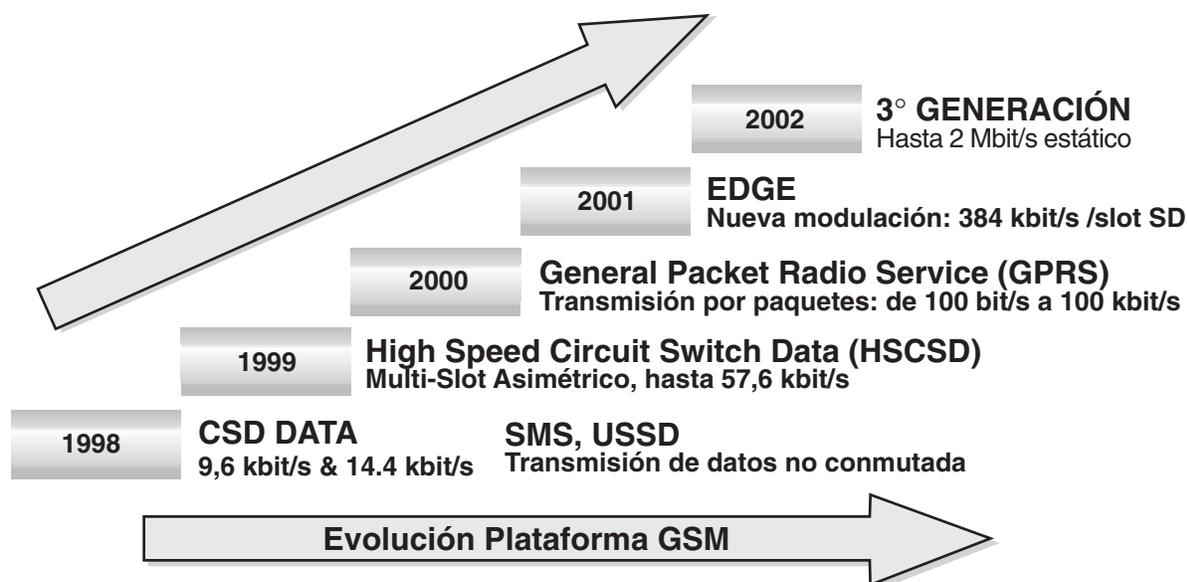


FIGURA III.5. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.

### HSCSD

HSCSD (*High Speed Circuit-Switched Data*) es un desarrollo de conmutación de circuitos de alta velocidad en la transmisión de datos desde el móvil. Este aumento de velocidad se consigue utilizando simultáneamente varios intervalos temporales, *timeslots*, de la portadora y permite conseguir un flujo de datos cercano a los 100Kbits/s.

Esta técnica *multislot* está diseñada para que sea soportada por la red GSM introduciendo cambios mínimos y de una forma fácil y rápida.

HSCSD, al utilizar tecnología de conmutación de circuitos en la red, es adecuada para transferencias de información a velocidad constante del tipo transferencia de ficheros y videoconferencias, pero necesita establecimiento de llamada y obliga a la red a mantener el circuito aunque no haya tráfico.

Por su propia naturaleza HSCSD no es eficiente, y en general se ha considerado como un paso previo a GPRS, y sólo algunos operadores móviles con volumen alto de tráfico de datos lo han implementado. Por otra parte HSCSD requiere sólo cambios del software en la infraestructura del operador.

## GPRS

Por otra parte se ha desarrollado el servicio general de paquetes por radio (GPRS, *General Packet Radio Services*). Este conjunto de servicios portadores da soporte al acceso vía radio utilizando el protocolo IP a Internet y en general a redes de conmutación de paquetes como X.25, con una velocidad de hasta 115Kbits/s usando el mismo subsistema de estaciones base que para los servicios de voz, pero con pasarelas específicas para el encaminamiento de la información GPRS a través de una red de datos.

GPRS es una técnica de conmutación de paquetes que emplea una codificación reducida de canal para alcanzar una velocidad neta de 14.4 Kbits/s por una *time slot* consiguiendo un caudal máximo de 115 Kbits/s. Esta técnica está basada en una nueva codificación de los canales radio, en la asignación de canales radio sólo cuando se envían datos en modo paquete, en la compartición de los canales entre más de un usuario y en la asignación de canales distintos para transmisión y recepción. Por tanto GPRS es una técnica adecuada para manejar tráfico a ráfagas, como el que se da en Internet o en redes de área local. Tiene la capacidad para suministrar datos directamente a la terminal del usuario. Si éste se encuentra apagado o fuera de cobertura cuando el usuario se presente ante la red, el sistema le indica automáticamente que tiene un mensaje en espera y le remite el texto y las imágenes que contiene. Al ser una técnica de conmutación de paquetes sólo se ocupa ancho de banda cuando se envían datos, lo que permite una utilización más eficiente del espectro al permitir compartir un canal entre varios usuarios en el proceso conocido como *multiplex acción estadística*.

Es evidente que GPRS implica una revolución en los aspectos técnicos, de nuevos servicios y de negocios que se resumen en los siguientes puntos.

- El acceso radio es por paquetes de datos, de forma que hasta siete usuarios pueden compartir eficientemente un único *time slot* de la portadora radio, que hasta ahora era asignado a un único usuario. Además un único usuario puede utilizar simultáneamente hasta ocho intervalos temporales (toda la portadora radio) y conseguir velocidades de transmisión de hasta 171 Kbits/s teóricos.
- La conmutación en GPRS se realiza a nivel de paquete de datos. El subsistema de red GPRS constituye una infraestructura paralela a la de GSM, que conmuta y trasmite los datos de una manera eficiente. Los nodos de conmutación se comunican por medio de una red IP dedicada.
- Son necesarios nuevos terminales móviles que soporten GPRS.
- GPRS interacciona con otros elementos clásicos de la red GSM como el centro de conmutación del servicio móvil (MSC, *Mobile Switching Centre*) y el centro servidor de mensajes cortos (SMS-C, *Short Message Service Centre*), con el objetivo de extender las ventajas de eficiencia de GPRS en el servicio convencional SMS de GSM.
- La tarificación se basa en el volumen de datos intercambiados, calidad de servicio y tipo de servicio.

- La red GPRS se puede comunicar con redes Internet externas (públicas o privadas) o internas del propio operador. La interconexión con redes de datos externas implica aspectos de seguridad y gestión de direcciones IP.
- GPRS ofrece un gran potencial para la creación de nuevos servicios de valor añadido. Estos servicios se pueden crear de una manera rápida y flexible pues pueden basarse en servidores de la red Internet.

GPRS hace un uso eficiente del ancho de banda, por lo que resulta la solución más adecuada, sin embargo, requiere de cambios estructurales más profundos ya que se necesita introducir dos nuevos elementos de red, el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) y el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), proveer la conectividad de estos nodos a la red GSM tradicional y cambios en la actual infraestructura GSM, fundamentalmente en los sistemas de tarificación que ahora facturan por volumen de tráfico y no por establecimiento y tiempo de conexión como lo hacen los sistemas GSM.

### EDGE

Partiendo de GPRS y como un paso intermedio hacia los futuros sistemas de banda ancha de tercera generación, UMTS, se encuentra EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) también llamado GSM-384. Introduce nuevos métodos en la capa física, incluyendo un nuevo esquema de modulación, 8PSK (*Phase Shift Key*), y diferentes formas de codificación de datos para la protección contra errores. El resultado es que EDGE alcanza velocidades de transferencias de datos hasta de 384Kbits/s, es decir, 48Kbits/s por intervalo temporal de la portadora de 200KHz propia de GSM, que ya son adecuadas para el acceso a Internet de alta velocidad e incluso para videoconferencia. La importancia de EDGE radica en el hecho de que en ella podrían converger tanto GSM como el estándar TDMA IS-136, un estándar adoptado por numerosos operadores en Norte y Sudamérica para los sistemas PCS .

### SERVICIOS DE UMTS

UMTS se incorporará al mercado en 4 fases hasta llegar a sus objetivos finales, aquí se describen brevemente los servicios que podrá proporcionar UMTS Fase 1. UMTS Fase 1 permitirá la introducción de un amplio número de nuevos servicios basados en Internet y multimedia. En esta fase de UMTS seguirán ofreciéndose todos los servicios que actualmente se ofrecen en las redes GSM.

La diferencia fundamental entre el sistema GSM y el sistema UMTS Fase 1 reside en que los nuevos sistemas de comunicaciones móviles UMTS serán capaces de soportar servicios portadores con una elevada tasa binaria (hasta 384Kbit/s en conexiones orientadas a conmutación de circuitos y hasta 2Mbits/s en las orientadas a la conmutación de paquetes). Además, estos sistemas introducirán nuevos conceptos como la posibili-

dad de negociar las características de la comunicación en cuanto a tráfico y calidad de servicio, QoS (*Quality of Service*) y la conexión y desconexión de componentes durante la sesión. Un aspecto importante es la integración del mundo del Internet y la movilidad, y para que esto sea posible es necesario el desarrollo de tecnologías de alta velocidad.

Una primera clasificación de los servicios distingue entre servicios básicos y servicios suplementarios. Los servicios básicos son aquellos que poseen entidad propia y que pueden prestarse por si solos, los servicios suplementarios no pueden prestarse por si solos sino que son aquellas facilidades que complementan, perfeccionan o modifican a un servicio básico.

Otra clasificación de servicios hecha por la ITU-T, distingue entre servicios portadores y teleservicios.

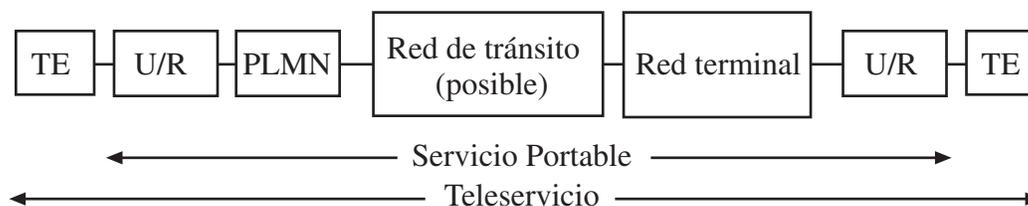


FIGURA III.6. Servicios portadores y teleservicios.

Los servicios portadores se determinan como aquellos servicios de telecomunicaciones que proporcionan una capacidad de transmisión de información entre puntos específicos de acceso a la red y garantiza una capacidad de transporte independiente del contenido de la información. Los servicios portadores se dividen en dos grandes grupos: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

En las redes UMTS va a ser posible para una aplicación especificar los requerimientos de tráfico a la red solicitándolos al servicio portador junto con el tipo y características del tráfico, máximo retardo de transmisión, variación del retardo, el BER y velocidad. Será posible para una terminal móvil tener diferentes servicios portadores activos simultáneamente, pudiendo estar cada uno de ellos orientados o no a conexión: La única limitación que puede tener es la velocidad acumulativa de bit que pueda soportar en los diferentes entornos de radio.

- 144Kbits/s para comunicaciones vía satélite.
- 144Kbits/s en entornos exteriores rurales.
- 384Kbits/s en entornos exteriores urbanos y suburbanos.
- 2048Kbits/s en edificios y pequeñas zonas exteriores.

Por otro lado, los teleservicios proporcionan una capacidad de comunicación completa, de extremo a extremo, es decir, incluyendo la capacidad del terminal, estos servicios también permiten al usuario acceder a algunas funciones de la red, como el almacenamiento y tratamiento de mensajes.

<b>Categoría Teleservicio</b>	<b>Información del usuario</b>	<b>Teleservicios</b>
Transmisión de voz	Mensaje corto	Telefonía Llamadas de emergencia
Servicios de mensajes cortos	Mensaje corto	Mensaje corto Difusión de mensajes cortos
Fax	Transmisión de faxes	Voz y Fax Fax automático
Servicios de voz para grupos	Voz	Servicios de voz para grupo Servicios de difusión de voz

TABLA III.1. *Teleservicios.*

También existen los servicios de valor añadido con los que se ofrece un valor añadido al cliente de una forma fácil y rápida.

Los sistemas UMTS permitirán ofrecer una amplia gama de servicios y aplicaciones con diferentes calidades de servicios, QoS. Los servicios y aplicaciones de un sistema UMTS podrán clasificarse dentro de grupos distintos en cuanto a QoS. La propuesta inicial comprende cuatro clases de QoS o tráfico distintas:

- Conversacional
- *Streaming*
- Interactiva
- *Background*

<b>Tipo de tráfico</b>	<b>Conversacional</b>	<b><i>Streaming</i></b>	<b>Interactiva</b>	<b><i>Background</i></b>
Características fundamentales.	Preservar la relación entre las distintas entidades de información de comunicación.  Patrón de conversación (muy sensible al retardo).	Preservar la relación entre las distintas entidades de información de comunicación.	Patrón petición respuesta.  Preservar el contenido útil.	El destino no espera la información en un tiempo concreto.  Preservar el contenido útil.
Ejemplo de aplicación.	voz	Streaming Video	Acceso a páginas web	e-mail

TABLA III.2. *Clases de QoS de UMTS.*

La **clase conversacional** esta orientada a servicios en tiempo real, como telefonía y videotelefonía principalmente, donde la información transmitida es muy sensible a los retardos. La conversación en tiempo real necesita retardos muy bajos que están delimitados por la sensibilidad humana. Las características fundamentales de este servicio son: preservar la variación temporal entre las entidades de información de la comunicación, y mantener un retardo constante y bajo.

La **clase stream** corresponde a aplicaciones multimedia basadas en técnicas de transferencia de datos que pueden ser procesadas como flujos estáticos y continuos. Las aplicaciones de *stream* son asimétricas y en general se trata de servicios unidireccionales, el usuario recibe una señal de audio o visual pero únicamente en un sentido, en estos caso no es muy importante el retardo lo que se requiere es que se mantenga constante. Un ejemplo puede ser la conexión a un distribuidor de música desde el móvil.

Dentro de la **clase interactiva** se encuentran las aplicaciones en las que el usuario final se encuentra conectado solicitando datos desde un equipo remoto. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son: acceso a páginas Web, consultas a bases de datos y acceso a servidores.

Este servicio responde a un modelo de petición respuesta en el que el extremo desde donde se ha realizado la solicitud hay una entidad que espera una respuesta, este servicio debe de tener un BER bajo.

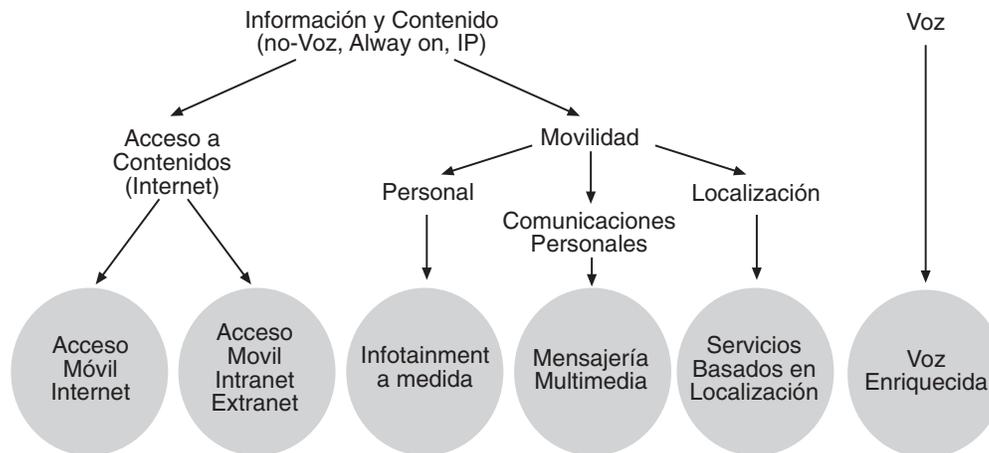
En la **clase background** el usuario final, que normalmente es una máquina, envía y recibe ficheros de datos en segundo plano. Ejemplos de background son e-mail, SMS y descargas de bases de datos.

	<b>Tiempo real (tiempo constante)</b>	<b>Tiempo no real (retardo variable)</b>
<b>Entorno de operación</b>	<b>BER/Máx retardo de transferencia</b>	<b>BER/Máx retardo de transferencia</b>
<b>Satélite</b> (Velocidad relativa del terminal 1000Km/h)	Máx. retardo de transf. <400ms BER $10^{-3} - 10^{-7}$ Nota 1	Máx. retardo de transf. $\Rightarrow$ 1200ms BER = $10^{-5} - 10^{-8}$
<b>Rural</b> (Velocidad relativa del terminal 500Km/h). Nota 2	Máx. retardo de transf. 20 –300ms BER $10^{-3} - 10^{-7}$ Nota 1	Máx. retardo de transf. $\Rightarrow$ 150ms BER = $10^{-5} - 10^{-8}$
<b>Urbano/Suburbano exterior</b> (Velocidad relativa del terminal 120Km/h)	Máx. retardo de transf. 20 – 300ms BER $10^{-3} - 10^{-7}$ Nota 1	Máx. retardo de transf. $\Rightarrow$ 150ms BER = $10^{-5} - 10^{-8}$ Nota 2
<b>Interiores/Zona exterior</b> (Velocidad relativa del terminal 10Km/h)	Máx. retardo de transf. 20 – 300ms BER $10^{-3} - 10^{-7}$ Nota 1	Máx. retardo de transf. $\Rightarrow$ 150ms BER = $10^{-5} - 10^{-8}$
Nota 1: Existe un compromiso entre el BER y el retardo Nota 2: 500Km/h es la máxima velocidad soportada en la zona rural		

TABLA III.3. *Requerimientos de QoS.*

Estos servicios son poco sensibles a retardos ya que el usuario final no espera los datos en un periodo de tiempo completo. Sin embargo, la BER tiene que ser baja para preservar la integridad de los datos.

La amplia oferta de servicios en UMTS complica su clasificación, se ha presentado la clasificación desde el punto de vista de QoS, ahora se revisa la propuesta del Foro UMTS que separa los servicios según sus contenidos. El Foro UMTS propone la clasificación de servicios en seis categorías.



Categorías de Servicios (Fuente: Foro UMTS Report #9. Telecompetition Inc. Sep 2001)

FIGURA III.7. *Categorías de Servicios.*

- **Acceso móvil a Internet:** Ofrece acceso a todos los ISP fijos con calidad y funcionalidades comparables a la conexión fija. Comprende acceso a Internet, transferencia de ficheros, e-mail y capacidades de audio y video *streaming*.
- **Acceso móvil a Intranet y Extranet:** Proporcionará un acceso móvil a LAN's corporativas, redes privadas virtuales e Internet.
- **Información + entretenimiento:** Proporcionará un acceso a contenidos personalizados en cualquier lugar y tiempo, independientemente de la terminal móvil, mediante mecanismos basados en portales móviles.
- **Mensajería multimedia:** Ofrecerá mensajería multimedia que no requiere de las características en tiempo real. Para este servicio será muy importante el concepto de *always on* de las redes 3G, que permite la entrega instantánea de mensajes.
- **Servicios basados en localización:** Tienen como objetivo la localización de personas, vehículos, servicios, máquinas, etcétera. Permite localizar al usuario, informarle de su propia situación, etcétera.
- **Voz enriquecida:** Servicio en tiempo real y en los dos sentidos. Proporciona capacidades avanzadas de voz, por ejemplo, voz sobre IP, acceso a Internet u otras redes activadas por voz, llamadas iniciadas en páginas Web. Además de mantener las características de los servicios de voz tradicionales como el *roaming*.

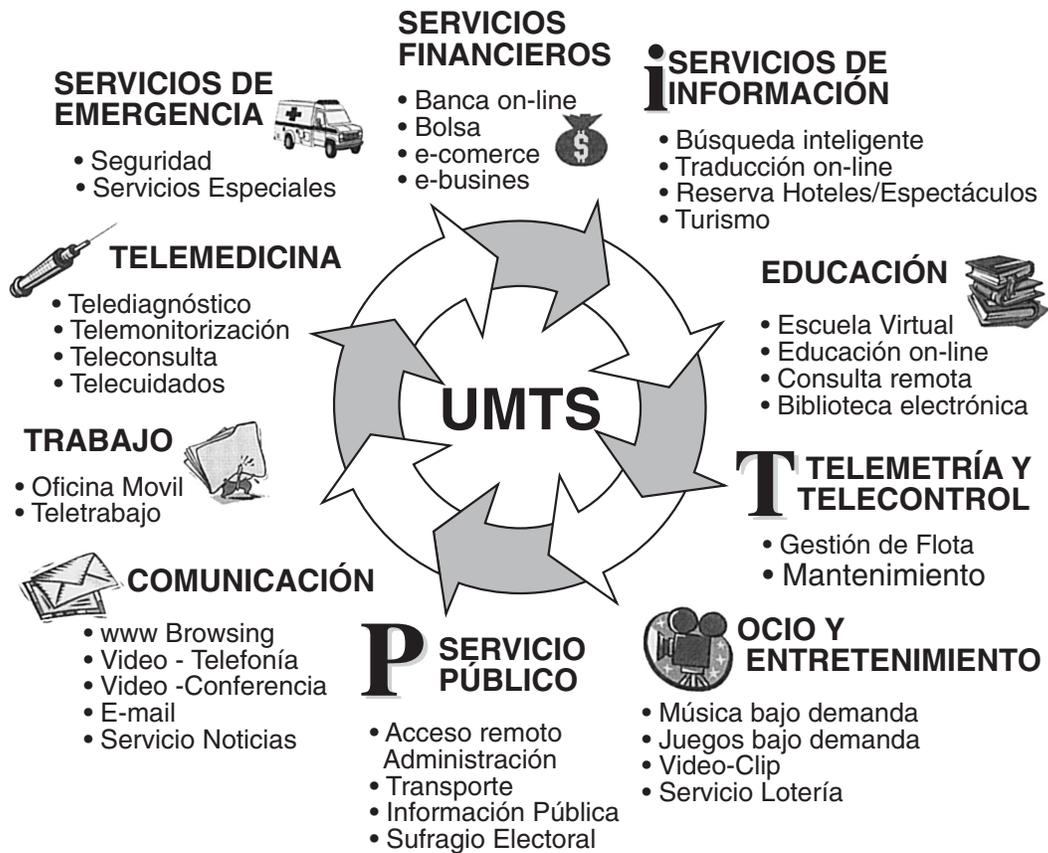


FIGURA III.8. Servicios de UMTS.

ARQUITECTURA DE UMTS.

La red UMTS consiste de tres dominios que interactúan entre si; Red Central (CN, Core Network), Red de acceso vía radio (UTRA, UMTS Terrestrial Radio Access Network) y equipo de usuario (UE, User Equipment). La principal función de la red central es proveer conmutación y dirigir el tráfico de los usuarios. La red central también contiene bases de datos y las funciones de manejo de red.

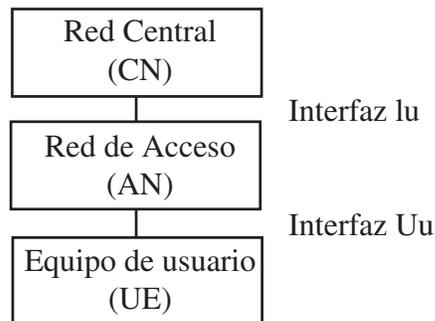


FIGURA III.9. Arquitectura básica y simplificada de UMTS.

La arquitectura básica de la red central para UMTS esta basada en la red GSM con GPRS. Todos los equipos tienen que ser modificados para poder operar con UMTS. La UTRA provee la interfaz de acceso aire para los equipos de usuarios. La estación base es referida como Nodo-B y el control de equipo para Nodo-B's es llamado RNC (*Radio Network Controller*)

Hay una serie de interfaces y elementos que pertenecen a la arquitectura de GSM, mientras que otros son propios de los sistemas de UMTS evolucionados de GSM.

La red de acceso se caracteriza por permanecer en contacto directo con el equipo de usuario y la red central, esta compuesta de las interfaces de transmisión y recepción entre el equipo de usuario y la red central. La red de acceso consiste en las entidades físicas que administran los recursos del acceso a la red y provee al usuario con un mecanismo de acceso a la red central. La red de acceso incorpora las funcionalidades relacionadas con la radio, como pueden ser la gestión del recurso radio y los trasposos entre células de los terminales.

La red central es responsable de la interconexión con otras redes, el encaminamiento de información, y de proveer servicios a los usuarios. Tiene funcionalidades como la de administración de la información, de localización de usuario, control de las características de la red y sus servicios, los mecanismos de transferencia para la señalización (intercambio y transmisión) y para la información generada por el usuario. Los servicios pueden ser dependientes de la red central, o la red central puede dar acceso a los servicios provistos por plataformas. La red central se divide en dos dominios: conmutación de paquetes y conmutación de circuitos.

### *Arquitectura simplificada de GSM*

La arquitectura de GSM sirve de punto de partida para la arquitectura de los sistemas de 3G. En la figura 3.10 se representa una arquitectura de referencia del sistema GSM que incorpora las entidades relevantes del mismo así como las interfaces. Para proporcionar el servicio móvil, tal como contempla la norma GSM, es necesario desarrollar una serie de funciones específicas reflejadas en las entidades funcionales de la arquitectura, entre las que se debe dar el intercambio de datos. Las entidades e interfaces son las siguientes.

La **estación móvil** (MS, *Mobile Station*), consiste en el equipo utilizado por el abonado, constituido por el módulo de identidad de abonado (SIM, *Subscriber Identity Module*) y el equipo móvil (ME, *Mobile Equipment*), compuesto este a su vez por los grupos funcionales siguientes: terminal móvil (MT, *Mobile Terminal*), dependiente de los servicios y aplicaciones que proporcione, adaptador de terminal (TA, *Terminal Adaptor*) y equipo terminal (TE, *Terminal Equipment*).

El sistema de **estación base** (BSS, *Base Station System*) es el conjunto de equipos de estación base que ve el centro de conmutación de móviles (MSC, *Mobile Switching Center*), a través de una sola interfaz A, responsables de comunicar con las estaciones

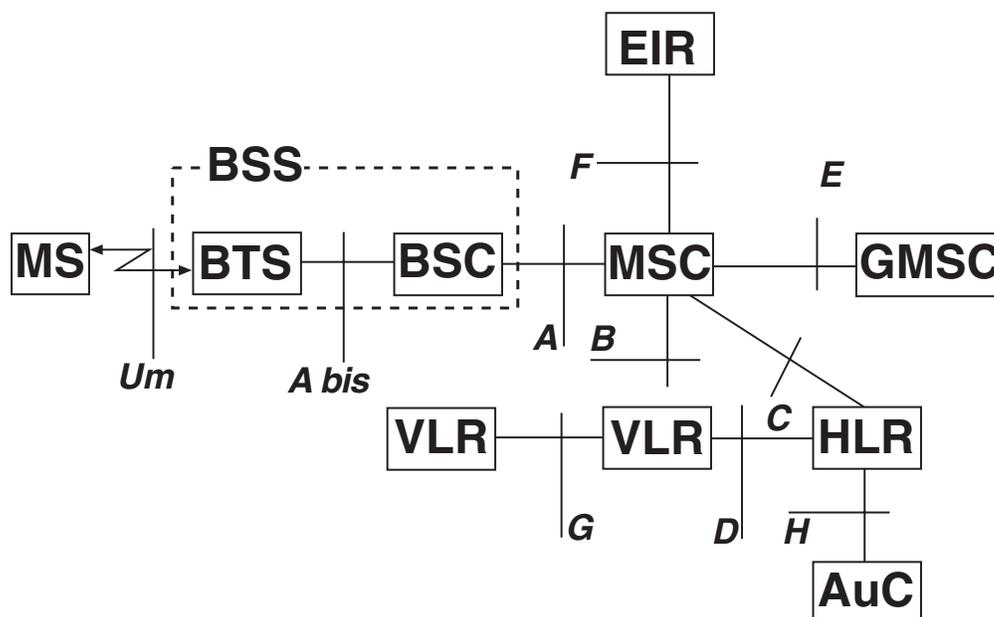


FIGURA III.10. Arquitectura de referencia GSM.

móviles dentro de una cierta área. El BSS comprende un controlador de estación base (BSC, *Base Station Controller*) y una o más estaciones base transceptoras (BTS, *Base Transceiver Station*).

La **estación base transceptora (BTS)** es un componente de red capaz de atender una célula, consistente básicamente en un transmisor/receptor radio junto con los componentes de control asociados.

El **controlador de estación base (BSC)**, es un componente de red capaz de controlar una o más BTS.

El **centro de conmutación de móviles (MSC)**. Se trata de una central de conmutación que desarrolla todas las funciones de conmutación y señalización relativas a las MS localizadas en un área geográfica denominada área MSC. Además desarrolla los procedimientos de registro de la localización y de *handover* o traspaso, al servicio de la movilidad de los abonados.

El **MSC pasarela (GMSC, Gateway MSC)**, es un MSC capaz de interrogar al registro general de abonados (HLR, *Home Location Register*), para encaminar una llamada, procedente de otras redes al MSC en el que se encuentra el usuario en ese momento. Estos GMSC hacen interfaz con otras redes, encaminando las llamadas procedentes de éstas. La elección de los MSC que pueden actuar como GMSC es decisión del operador.

El **registro general de abonados (HLR)**. Se trata de una base de datos encargada de la gestión de los abonados móviles. Una PLMN puede tener uno o varios HLR, dependiendo del volumen de abonados, de la capacidad de los equipos que constituyen el HLR y de la organización de la red. Conceptualmente es útil considerar que a cada

PLMN se le asocia un HLR en el que reside información relativa a la subscripción y a la localización actual del usuario que posibilite el cargo del servicio y el encaminamiento de las llamadas.

**El registro de visitantes (VLR, Visitor Location Register).** Toda estación móvil que se encuentre en el área atendida por un MSC está registrada en el VLR asociado a ese MSC. Siempre que un nuevo móvil entra en el área de servicio del MSC, se registra en el VLR correspondiente. Un VLR puede atender a uno o más MSC. La información que controla el VLR es la que necesite para establecer/terminar las llamadas originadas/terminadas en las estaciones móviles a su cargo, incluyendo diferentes identidades de la MS, parámetros de servicio y área de localización.

**El centro de autenticación (AuC, Authentication Centre),** es una entidad funcional asociada al HLR en la que se almacenan los algoritmos y las claves de seguridad asociadas a los abonados móviles (generalmente una por abonado). Con cada clave se genera, cuando se precisan, los datos para la autenticación de los usuarios y las claves para el cifrado de la comunicación entre el terminal móvil y la red.

**El registro de identidad de equipos (EIR, Equipment Identity Register).** Este registro almacena los números de identificación de los terminales móviles (IMEI, *International Mobile Equipment Identity*) utilizados en el sistema GSM. Cada estación móvil es marcada y registrada en una de tres listas.

La implementación del servicio móvil con itinerancia internacional implica el intercambio de datos entre los equipos involucrados en el servicio. Este flujo de datos atraviesa las interfaces definidas entre cada pareja de entidades funcionales relacionadas en la figura pasada.

**La interfaz Um:** Conocida también como interfaz aire o interfaz radio, se define entre la estación móvil y el BSS.

**La interfaz A:** Es la interfaz entre el MSC y el BSS, que transporta la información relacionada con la gestión del BSS, la gestión de la movilidad y el control de la llamada, además de los datos de usuario.

**La interfaz A-bis:** Definida para conectar uno o más BTS a un solo BSC, es atravesada tanto por datos de usuario como por los de control y señalización.

**La interfaz B:** Está localizada entre la pareja MSC-VLR, siendo interna a la entidad MSC/VLR; no está estandarizada la señalización sobre la misma.

**La interfaz C:** Es la interfaz localizada entre el MSC y el HLR. El GMSC interroga al HLR para obtener la información de encaminamiento de llamadas o mensajes dirigidos al móvil. La señalización sobre la interfaz utiliza MAP (*Mobile Application Part*).

**La interfaz D:** Entre el HLR y el VLR se define esta interfaz para soportar el intercambio de datos relacionados con la gestión del abonado y con la gestión de la localización siguiendo su itinerancia. La principal funcionalidad, capaz de proporcionar servicio cuando un abonado se mueve sin restricciones por el área de cobertura del sistema, se basa en el intercambio de datos entre las bases de datos relacionadas con la localización, HLR y VLR. Este último envía al primero los datos de localización y el HLR le

responde con los datos asociados al servicio contratado y que permiten gestionar las comunicaciones del mismo. También sobre esta interfaz la señalización utiliza MAP.

**La interfaz E:** Es la interfaz existente entre dos MSC soportando la señalización que se produce entre estos cuando un móvil debe hacer un traspaso inter-MSC durante una comunicación; también soporta la transferencia de mensajes cortos cuando el MSC que atiende al abonado en un momento determinado no coincide con el MSC que actúa como interfaz con el centro de servicio del SMS. La señalización en esta interfaz utiliza MAP.

**La interfaz F:** Es atravesada por los datos y señalización que intercambian MSC y EIR con el fin de verificar el estatus del IMEI de una estación móvil. La señalización sobre esta interfaz también utiliza el MAP.

**La interfaz G:** Definida entre dos VLR, es atravesada por los datos que estos intercambian cuando un móvil cambia de la zona de servicio de un VLR a la de otro, que puede incluir los parámetros de autenticación y el IMSI. La señalización utiliza MAP.

**La interfaz H:** Es la interfaz existente entre un HLR y el AuC, por la que se intercambian datos de autenticación y cifrado de los móviles.

### *Nuevos elementos en la arquitectura de UMTS*

Una representación más detallada se da en la siguiente figura, en la que se representa la configuración básica y las interfaces que pueden identificarse en una PLMN. En esta representación todas las funciones se suponen implementadas en diferentes equipos siendo, en consecuencia, todas las interfaces externas. En la figura las líneas continuas que conectan entidades funcionales representan conexiones soportando tráfico de usuario y las líneas discontinuas señalización.

En la red central, los nodos GSN (*GPRS Support Node*) son elementos que añaden el servicio GPRS a los ya existentes GSM, para dar soporte específico al servicio de conmutación de paquetes en otras redes fijas, redes de paquetes de datos (PDN, *Packet Data Network*), desde las estaciones móviles.

**SGSN (*Serving GSN*):** Es el nodo que establece la conexión lógica a nivel de enlace de datos con las estaciones móviles que están en su área de servicio, siendo responsable de la gestión de movilidad local de las mismas. Maneja dos tipos de datos relacionados con los abonados; uno que comprende los datos de la suscripción (IMSI-*International Mobile Subscriber Identity*-, TMSI - *Temporary Mobile Subscriber Identity*-, direcciones PDP, -*Packet Data Protocol*-) y otro los de la localización (célula, área de encaminamiento, número de VLR asociado, direcciones de los GGSN (*Gate GSN*) con los que está conectado el móvil o, lo que es equivalente, con los que tiene un contexto PDP activo.

**GGSN:** Es el nodo encargado de conectar al móvil, por medio del SGSN, con redes externas a la propia PLMN. Para hacerlo maneja información de dos tipos, suministra-

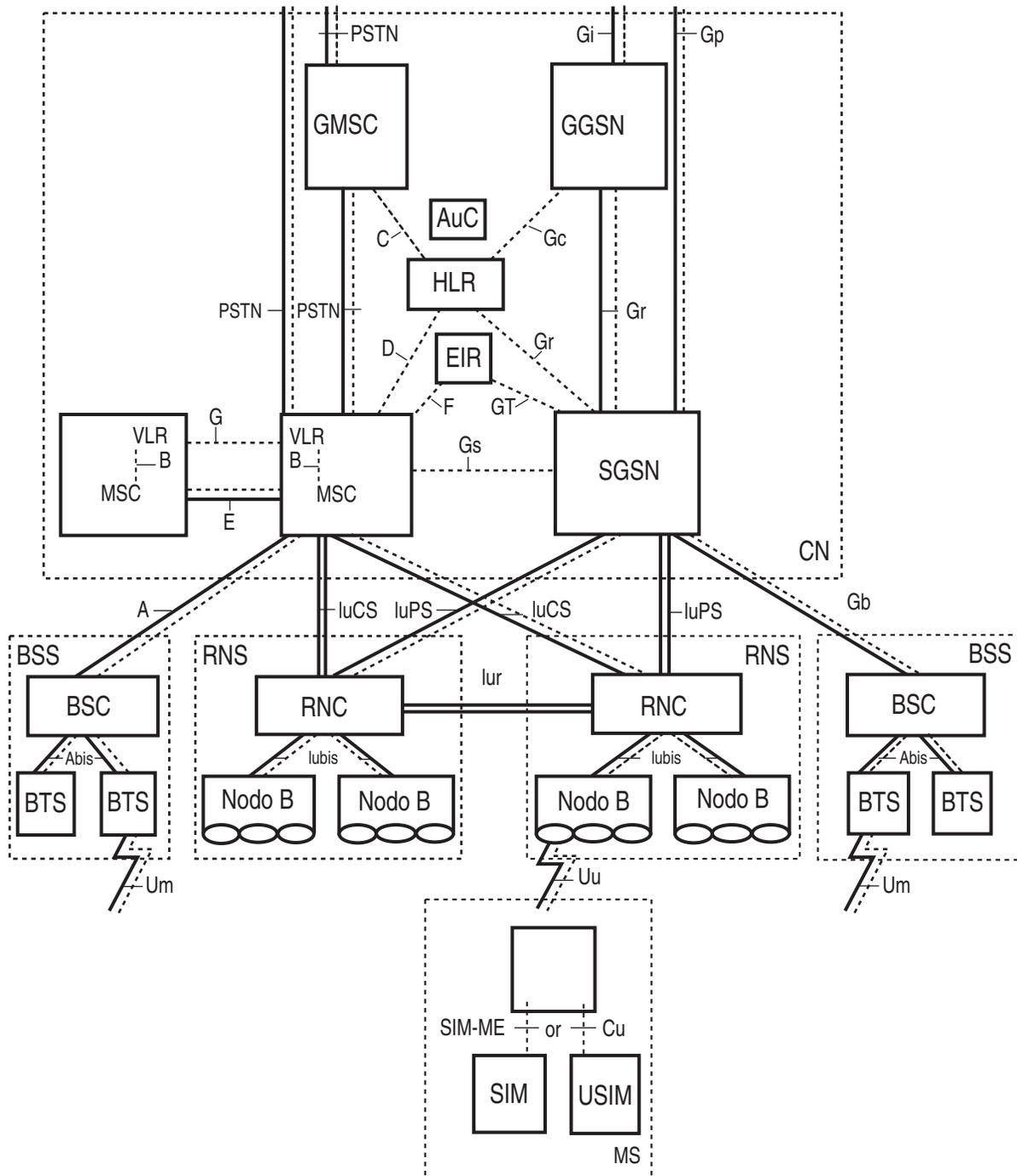


FIGURA III.11. Configuración de referencia de una PLMN que incluye elementos GSM y UMTS.

das por el HLR y el SGSN. Relacionada con la suscripción maneja información como el IMSI y las direcciones PDP, mientras que en relación con la localización conoce la dirección del SGSN que atiende en ese momento al móvil.

Los siguientes elementos se localizan en la red de acceso:

**RNS** (*Radio Network Subsystems*): la red de acceso UMTS consiste en una serie de subsistemas de red radio o RNS interconectados y conectados a la red central. Cada RNS es responsable de la localización y liberación de los recursos radio específicos que permiten establecer la conexión entre los equipos de usuario y la red de acceso, dentro del área de cobertura o conjunto de células que se le asignan.

**RNC** (*Radio Network Controller*): Los controladores de red radio se encargan de controlar el uso e integridad de los recursos radio. Por ejemplo, son responsables de las decisiones de traspaso que requieren señalización a los terminales de usuario o UE; también comprende la función de separación / combinación para soportar la macro diversidad entre diferentes nodos B.

**Node B**: Los nodos B son entidades lógicas responsables de la transmisión/recepción radio a / desde los terminales de usuario en una o más células. Se conectan con los RNC a través de la interfaz Iub.

**MS** (*Mobile Station*): Se trata del equipo físico de comunicaciones que utiliza el abonado para hacer uso del servicio, compuesto del ME y del SIM o USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*). El ME a su vez está constituido por MT, dependiente de las aplicaciones y los servicios, y el TE.

Las entidades funcionales descritas pueden estar implementadas en una o más máquinas, pero en cualquier caso el flujo de información discurre a través de las siguientes interfaces.

Interfaces entre la red central y de acceso:

**IuPS** (*Iu Packet Switched*): definida entre SGSN y RNC, soporta la transferencia de datos y señalización relacionados con el servicio de conmutación de paquetes.

**IuCS** (*Iu Circuit Switched*): entre MSC y RNS, es atravesada por la información relacionada con la gestión de RNS, el manejo de llamadas (conmutación de circuitos) y la gestión de la movilidad.

**Gb**: es la interfaz BSS-SGSN utilizada para transferencia de información relacionada con la transmisión de paquetes de datos y la gestión de la movilidad.

Interfaces entre la red de acceso y las estaciones móviles.

**Um**: Se trata de la interfaz radio para servicio de conmutación de circuitos.

#### ESTRUCTURA CELULAR

Para lograr una capacidad de tráfico elevada en UMTS realizando el mínimo número de trasposos a las estaciones móviles que se desplazan a diversas velocidades y

maximizar, a la vez, la eficacia en la utilización del espectro. En UMTS conviene establecer distintos tipos de células en relación con los parámetros de la estación móvil tales como características de movilidad, potencia de salida y tipos de servicios utilizados. Una capa de célula puede contener células del mismo tipo en una zona de servicio.

Esta estructura por capas no supone que todas las estaciones móviles tengan que poder conectarse a todas las estaciones base que cubren el haz donde está situada la estación móvil.

Las capas de células pueden clasificarse en cuatro categorías: megacélulas (satélite), macrocélulas, microcélulas y picocélulas. El tamaño de las células está relacionado con el alcance radioeléctrico y, en consecuencia, impone algunas condiciones en el diseño de las interfaces radioeléctricas.

Tipo de célula	Megacélula	Macrocélula	Microcélula	Picocélula
Radio de la célula.	100-500 Km	< 35 Km	< 1 Km	< 50 m
Instalación.	LEO, MEO, GEO.	Cima de un edificio, torre, etc.	Poste de un alumbrado.	Interior de un edificio.
Velocidad del terminal.		<500 Km/h	< 100 Km/h	< 10 Km/h

TABLA III.4. Estructura celular de UMTS.

Las megacélulas proporcionan cobertura a amplias superficies y son especialmente útiles en zonas remotas con baja densidad de tráfico. Debido a su tamaño, las megacélulas proporcionan cobertura en muchos tipos de entornos, desde entornos distantes hasta entornos urbanos, incluso en zonas sin acceso a las redes terrestres; en países en desarrollo puede que ésta sea el único tipo de célula disponible, aún en zonas urbanas.

Hoy en día, las megacélulas sólo pueden crearse haciendo uso de satélites y por ello, a veces se emplean indistintamente los términos “célula de satélite” y “megacélula”. No obstante, puede que en el futuro los satélites puedan proporcionar una cobertura de macrocélula, por lo que es preferible utilizar el término de megacélula.

El tamaño de la célula depende de la altitud del satélite, de la potencia y de la apertura de la antena. En estas células existe una gran distancia entre las estaciones móviles y la estación base. Además, las megacélulas se caracterizan por una baja densidad de tráfico en comparación con las células terrestres y porque pueden soportar velocidades de estaciones móviles muy elevadas. A diferencia de los tipos de células terrestres de UMTS que normalmente pueden optimizarse según el tipo de entorno (obstáculos por edificios y vegetación) y según la velocidad de la estación móvil, las megacélulas deben tener la flexibilidad necesaria para admitir una amplia gama de tipos de usuarios.

Las megacélulas creadas por satélites no geoestacionarios no son fijas, sino que se desplazan por lo que, pueden producirse traspasos, aún cuando la estación móvil permanezca estacionaria.

Cuando una estación vaya a iniciar o recibir una llamada, el sistema deberá decir el tipo de célula a la que accederá según la ubicación y velocidad del móvil, la disponibilidad de células y la potencia de transmisión hacia/desde el móvil. Cuando hay disponibles varios tipos de células debe elegirse la más eficaz desde el punto de vista de costos y de capacidad. Normalmente la célula elegida será la que requiera menor potencia para la comunicación hacia/desde el móvil.

#### REFERENCIAS

- Rafael Ayusco, Blanca ceña, *et al*, Comunicaciones móviles GSM, primrra edición, Fundación Airtel, 1999.
- Hernando Rábanos José María, Comunicaciones móviles, Centro de estudios Ramón Areces.
- <http://www.umts-forum.org>
- <http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm>
- [http://www.searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7\\_gci213688,00,html](http://www.searchnetworking.techtarget.com/sDefinition/0,,sid7_gci213688,00,html)
- <http://www.webmovilgsm.com/umts.htm>

## IV. REDES SATELITALES

La dirección actual de la investigación en sistemas de comunicaciones móviles se encamina al uso de constelaciones de satélites con objeto de proporcionar una cobertura global, que no puede lograrse con las redes celulares terrestres, bien porque no es posible (como en los océanos y en los polos) o porque no es viable (como en zonas despobladas). Desde el desarrollo de los primeros sistemas de comunicación con satélites se vio que una de las principales ventajas de éstos era la posibilidad de lograr dar cobertura a todo el globo terrestre.

Los sistemas de comunicaciones globales de los próximos años serán respaldados por sistemas satelitales que permitan cubrir las características de comunicación que no serán satisfechas por la infraestructura de comunicaciones terrestre. Estos sistemas tendrán como principal objetivo el establecimiento de comunicaciones móviles, mediante satélites, entre estaciones terrenas fijas y estaciones terrenas móviles.

En los futuros sistemas de comunicaciones personales, el segmento espacial es uno de los elementos más importantes. Los sistemas que pudieran satisfacer las características necesarias dentro de los sistemas de telefonía móvil de tercera generación constan de redes satelitales con distintas características que tienen ventajas y desventajas dependiendo de las condiciones en las que se encuentran configuradas. Éstas características dependen en gran parte de la órbita u órbitas en las que se encuentra ubicada la red satelital.

A continuación se describen brevemente las características principales de las diferentes órbitas que pudieran emplear dichas redes satelitales que constituirán el segmento espacial del sistema de tercera generación.

### TIPOS DE ÓRBITAS Y SUS CARACTERÍSTICAS.

#### *Órbita geoestacionaria (GEO).*

Estos satélites proporcionan un servicio de comunicación continuo. Los satélites geoestacionarios son colocados sobre el Ecuador a una altura promedio de 36,000 kilómetros. Su período orbital tiene la misma duración que el de la Tierra, por lo que aparentan estar fijos en el cielo. Se utilizan ampliamente para transmisión de datos, televisión y telefonía. Requieren de grandes estaciones terrestres fijas. Las principales ventajas que ofrece un satélite de este tipo son: la eliminación de antenas rastreadoras

u omnidireccionales; se simplifica el diseño y reduce el tamaño de las estaciones terrenas; permite el rehusó de frecuencias en satélites contiguos. Un satélite geoestacionario requiere de una potencia alta en la transmisión al igual que una ganancia mayor en las antenas de los receptores tanto del satélite como de la estación terrena con la que se comunica. Los satélites geoestacionarios son útiles en comunicaciones locales. Con la tecnología actual se pueden tener satélites espaciados cada 2 grados en los 360 totales del plano ecuatorial, sin presentar interferencia, por lo tanto puede haber 180 satélites de comunicaciones geoestacionarios a la vez. Una red satelital de éste tipo puede cubrir el globo con excepción de las partes cercanas a los polos con tan solo tres satélites.

### *Órbita Heliosíncrona (HEO)*

Los satélites que se encuentran en la órbita HEO, tienen una altitud de vuelo comprendida entre los 500 km en el Perigeo (punto más bajo de la órbita), y los 50 000 km en el apogeo (punto más alto de la órbita) de altura desde la superficie terrestre. Los periodos típicos de sus órbitas varían entre 8 y 24 horas. Sin embargo, el periodo de traspaso es sólo dos terceras partes del periodo orbital antes y después de pasar el apogeo, referido a la duración del apogeo. La inclinación orbital de este sistema es 63.4°. Los sistemas HEO se operan de manera similar a los sistemas geoestacionarios. Sus movimientos respecto a la superficie terrestre son relativamente pequeños, los intervalos de traspaso son idénticos a la duración del apogeo y el retardo de propagación es comparable al de los sistemas geoestacionarios.

### *Órbita Media (MEO)*

Los satélites MEO se encuentran ubicados entre 6000 y 10000 km de altura sobre la Tierra. Los límites señalados permiten que los satélites se ubiquen entre el primer y segundo cinturón de Van Allen, evitando su radiación perjudicial. Éstos satélites son empleados generalmente para funciones de radiolocalización y de comunicaciones, tal como la que ofrecerá ICO. Los satélites MEO's o de órbita media tienen un periodo orbital diferente al de la tierra por lo cual requieren de un sistema de antenas más complicado, además la huella que ven es mucho menor a la de los satélites geoestacionarios por lo que se requieren más satélites para tener cobertura total. La ventaja de estos satélites es que requieren de una menor potencia en la transmisión.

### *Órbita Baja (LEO)*

Las órbitas bajas, LEO, son órbitas típicamente circulares, cuya altitud varía entre 500 y 1500 Km. El límite inferior es debido a que alturas menores a ésta supondrían menor cobertura y a la existencia de alguna fricción atmosférica; el límite superior lo marca la proximidad del primer cinturón de Van Allen. El periodo de la órbita varía entre 90

minutos y 2 horas. Por ejemplo, si se encuentra orbitando a una velocidad de 17500 millas por hora le toma solamente una hora y media en completar su órbita. Éstos satélites requieren de estaciones terrenas relativamente sencillas. Ofrecen gran flexibilidad para aplicaciones y constituyen la base de gran parte de las constelaciones de telefonía satelital. Los ángulos de inclinación de las órbitas varían entre  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Éstos satélites se encuentran visibles desde la superficie de la tierra alrededor de 15 minutos. Los sistemas LEO son similares a las redes celulares. La diferencia es que el tamaño del radio celular es mayor y que las células se mueven. Este movimiento es el que determina el intervalo de traspaso de una célula a otra.

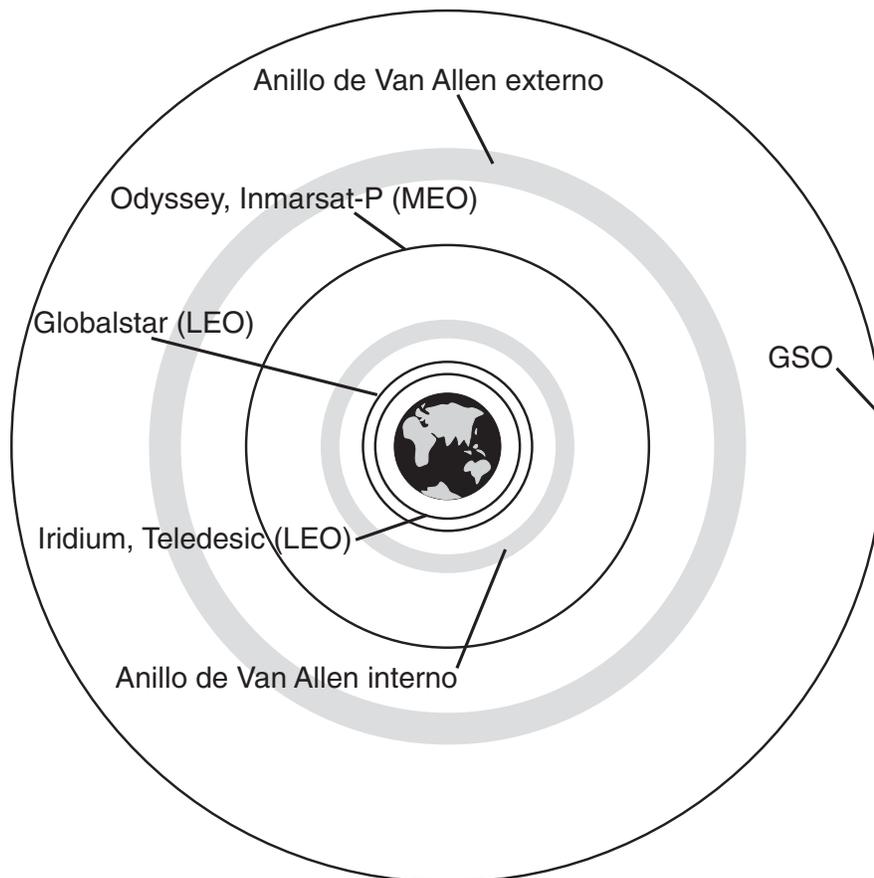


FIGURA IV.1. Órbitas satelitales.

La clasificación expuesta anteriormente obedece a las características de las ubicaciones de las redes satelitales sobre la superficie de la tierra. Aunado a las particularidades de cada órbita, existen diferencias que caracterizan a cada tipo de constelación satelital en términos de costos tanto de lanzamiento como de equipos terrestres, de atenuación, de cobertura y de complejidad en los sistemas de las estaciones terrenas.

Las características particulares sobre los aspectos mencionados hacen más viable, por ejemplo, que los satélites en órbitas GEO y HEO sean más utilizados en comunica-

ciones que requieren de coberturas geográficas limitadas a un país o una región a pesar del hecho paradójico de que al mismo tiempo son las que permiten mayor cobertura. Esto se debe a que basta con un satélite en una órbita GEO o hasta tres satélites en órbita HEO para poder dar cobertura permanente a un país. Sin embargo, por características de órbita y de cobertura, los satélites HEO son más convenientes para las regiones cercanas al polo con un número de estaciones terrenas relativamente bajo. En el caso de los satélites LEO, que tienen un periodo orbital de menos de dos horas, solo cubrirían una región geográfica por un tiempo muy corto. Es por eso que para obtener una cobertura constante sobre un territorio se requiere una constelación de ellos. Hay sistemas de órbitas bajas que requieren 66 satélites simultáneos y se han considerado sistemas con cerca de 300 satélites. La proximidad de los satélites LEO les da notables ventajas sobre los satélites GEO que se están utilizando en comunicaciones. El tiempo que tarda la señal en ir a las órbitas bajas y regresar es de centésimas de segundo, lo que reviste su interés si se compara con el cuarto de segundo que necesitan los datos para recorrer en ambos sentidos el camino a la órbita GEO. Como posible consecuencia o aplicación, esta rápida operación hará más práctico y atractivo el acceso a redes y videoconferencias. Además de ser más rápidos que los GEO, los sistemas LEO pueden utilizarse con terminales más pequeños, dado que el satélite suele estar unas 40 veces más cercano a la Tierra.

Los satélites MEO tienen el mismo problema de cobertura pero en menor grado ya que para poder cubrir permanentemente una región se requiere de una constelación de 12 satélites.

Ahora mismo, podemos destacar por su importancia dos sistemas móviles terrestres LEO y MEO dispuestos a ofrecer telefonía y radiobúsqueda global: Globalstar e ICO.

En la tabla VI.1 se muestran las características de diferentes órbitas. En la primera columna se muestra la altura a la que se encuentra el satélite. Nótese que la última fila muestra las características de un satélite geostacionario cuyo periodo corresponde a la duración de un día sideral. La tabla IV.2 es una tabla comparativa de los sistemas satelitales con base en la órbita en la que operan.

<b>Altura (km)</b>	<b>Velocidad (km/s)</b>	<b>Periodo (s)</b>	<b>Periodo (h:m)</b>
500	7.613	5677	1:35
800	7.452	6052	1:41
1400	7.159	6827	1:54
5000	5.919	12079	3:21
10400	4.874	21628	6:00
15000	4.318	31107	8:38
35786	3.075	86164.12	3:56

TABLA IV.1. *Velocidad y periodo de órbitas satelitales.*

	<b>LEO</b>	<b>MEO</b>	<b>GEO</b>
Costo de los satélites	Máximo	Mínimo	Medio
Vida del satélite	3-7 años	10-15 años	10-15 años
Retardo de propagación	Pequeño	Medio	Grande
Pérdidas de propagación	Bajas	Medias	Altas
Complejidad de la red	Compleja	Media	Simple
Hand-off	Muy frecuentes	Frecuencia media	No hay
Periodo de desarrollo	Largo	Corto	Largo
Visibilidad de un satélite	Corta	Media	Siempre

TABLA IV.2. Comparación de los sistemas de satélites.

Las comunicaciones vía satélite no están exentas de problemas. Como ya mencionamos anteriormente, si no se emplean técnicas de cifrado, pueden aparecer problemas de seguridad. Las condiciones climatológicas adversas, por ejemplo las tormentas fuertes, pueden causar interferencias en las señales de los canales de comunicaciones ascendentes y descendentes. Adicionalmente, la señal debe recorrer un camino muy largo (aproximadamente 36 000 km de ida y otros tantos de vuelta en el caso de los satélites geoestacionarios), lo que causa un retardo en la recepción de las señales en las estaciones de tierra. En algunos casos, este retardo puede causar problemas a los protocolos de línea y complicaciones con el tiempo de respuesta.

Periódicamente, el Sol, la estación de tierra y el satélite se encontrarán alineados. Esto causará que la antena de la estación de tierra reciba los rayos solares, creándose lo que se denomina un transitorio solar: el nivel de ruido térmico se hará sensiblemente superior a la señal recibida. Por el contrario, el denominado eclipse solar se produce durante la primavera y el otoño cuando la Tierra se sitúa entre el Sol y el satélite durante algunos minutos en un período de 23 días. Durante esos minutos, las celdas solares del satélite no reciben energía, lo que crea pérdidas de potencia en los componentes electrónicos del satélite.

Finalmente, no hay que olvidar que para los satélites, en cualquier banda, el número de canales de frecuencia es finito, y también lo es el número de satélites que se pueden poner en órbita. Aunque en el pasado estas limitaciones de espectro y de espacio en órbita no han supuesto un impedimento, actualmente se están convirtiendo en un problema, por lo que se hacen necesarios esfuerzos de cooperación entre las naciones que utilizan la tecnología de comunicaciones vía satélite.

#### *Cálculo del número de satélites necesarios para ofrecer cobertura global dependiendo de la altura*

Uno de los principales reproches que se le hace a los satélites geoestacionarios es el retardo que tiene la señal en la trayectoria de ida y vuelta, este retraso es de 480 ms, que

aunque parece poco ya es sensible al oído humano. Uno de los principales objetivos de los satélites de órbita baja es reducir el retardo que sufre la señal siendo este tipo de satélites óptimos para telefonía celular y para esos servicios que requieren respuesta en tiempo real. Otra de las ventajas de los satélites de órbita baja y media es que la potencia requerida es mucho menor haciendo que los aparatos receptores sean más sencillos y ligeros debido a que requieren de menor potencia para llegar al satélite. La principal desventaja de los satélites de órbita baja es que se necesita un gran número de ellos para poder cubrir el globo terráqueo en su totalidad.

Para poder relacionar el número de satélites necesarios para poder cubrir toda la Tierra y la altura a la que estos se encuentran es necesario tomar en cuenta varios aspectos, uno de ellos es el ángulo de elevación, el cual lo tomaremos de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 grados.

El punto de la superficie terrestre que se encuentra más cercano para la comunicación radio con un satélite es ese que se encuentra exactamente en su vertical. Partiendo de éste punto sobre la superficie de la tierra hacia fuera con círculos concéntricos, la recepción se degrada en medida que los círculos se alejan del satélite. Debido a que la altura a la que orbitan los satélites alrededor de la tierra es lo suficientemente grande no se consideran los relieves de la Tierra. La zona de cobertura final está descrita como un disco sobre la superficie terrestre, este disco lleva el nombre de huella satelital (*footprint*). Sería posible dar su radio, sin embargo, un parámetro más importante es el *radio de su ángulo sólido de cobertura*. El ángulo sólido de cobertura es entonces el cono centrado en el centro de la tierra, cuyo eje pasa por el satélite, y en donde el ángulo de abertura es  $\alpha$ .

La zona de cobertura puede ser vista como la intersección de un cono circular que parte del centro de la tierra y su superficie. Conociendo la vertical del satélite, y así el eje del cono, es suficiente conocer su ángulo  $\alpha$  para caracterizarlo.

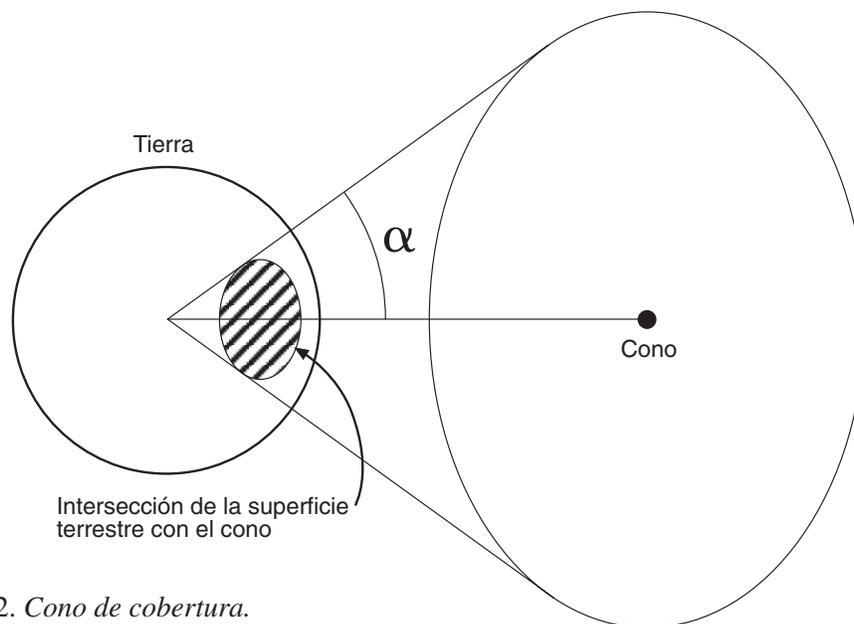


FIGURA IV.2. Cono de cobertura.

Un elemento esencial para la caracterización de la cobertura es el ángulo de elevación  $b$  con el cual el usuario puede ver el satélite. Si se considera el plano  $P$  tangente a la superficie terrestre al nivel del receptor, éste último reconoce las señales del semi-espacio de frontera  $P$  que no contiene a la Tierra. Sin embargo, la presencia de un relieve corta en la mayoría de los casos al menos una parte de éste espacio. En efecto, un satélite situado muy cerca del horizonte está a la merced del mínimo obstáculo que se pudiera interponer: montañas, colinas, edificios, casas, árboles, etc. Para combatir esto, se trata de alguna manera de elevar la línea del horizonte para ver los satélites más verticales.

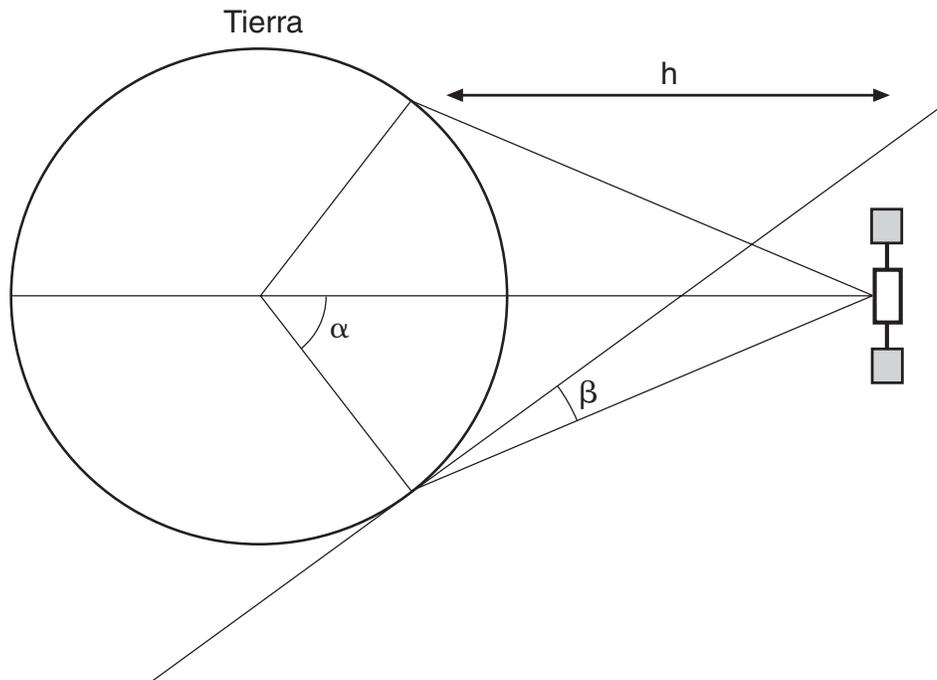


FIGURA IV.3. Figura esquemática del ángulo de cobertura.

Conociendo la altitud de un satélite y el ángulo de elevación con el cual se desea que él sea visible, es fácil de determinar el ángulo de cobertura  $a$ . Estos diferentes parámetros están unidos por la ecuación:

$$h = R_T (\cos(\alpha) (1 + \tan(\alpha) \tan(\alpha + \beta)) - 1),$$

Donde  $R_T$  representa el radio de la Tierra. Despejando la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\frac{h + R_T}{R_T} = \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha + \beta)}$$

El área cubierta por un satélite de cobertura a tiene una superficie de  $2\pi(1-\cos(\alpha))R_T^2$ . Dado que la superficie de la Tierra total es de  $4\pi R_T^2$  debe de haber al menos  $2/(1-\cos(\alpha))$  satélites para cubrir completamente la Tierra.

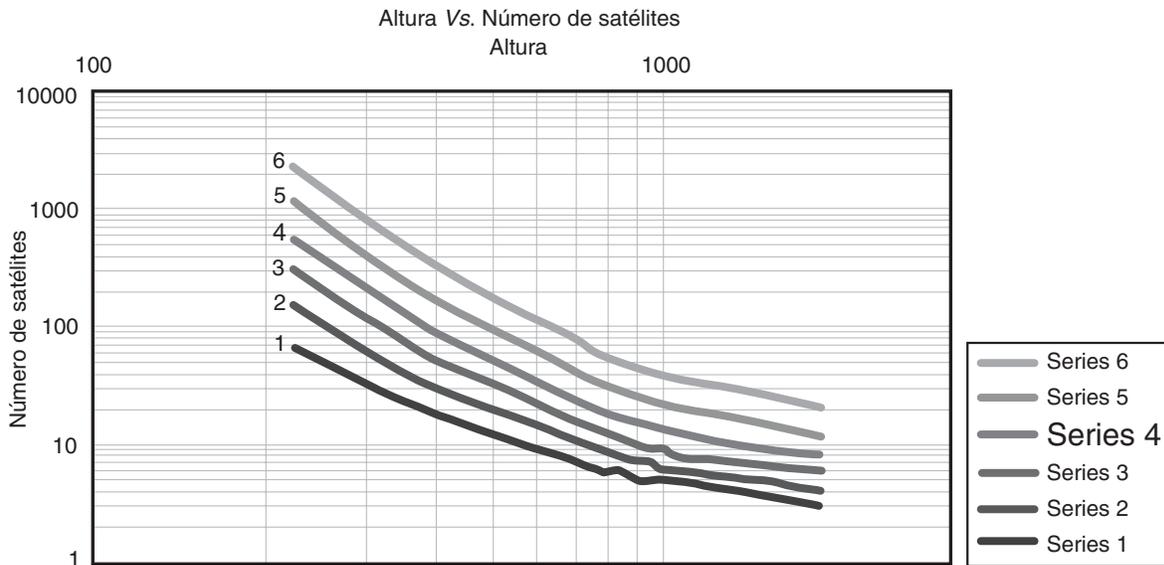


FIGURA IV.4. Número de satélites dependiendo de la altura.

La gráfica anterior muestra la cantidad de satélites que son necesarios para cubrir el globo terráqueo a diferentes ángulos de elevación dependiendo de la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentren, sin embargo el límite inferior es difícil de alcanzar. De hecho cada satélite cubre un disco y todos los discos tienen que embonar. Aún suponiendo satélites inmóviles, encontrar el número mínimo de discos necesarios para la cobertura de una esfera es un problema matemático que, aún hoy, no está completamente resuelto. Investigaciones recientes tienen en particular permitir encontrar familias de discos (o familias de esferas) capaces de aproximarse al mínimo. Una aproximación más detallada del problema, válida en particular cuando el número de satélites llega a ser grande, consiste en considerar que las células cubiertas por los satélites son de hecho hexagonales. O el área de un hexágono forma un radio de 0.827 del área contenida dentro de su círculo circunscrito. Esto quiere decir que hace falta agregar aproximadamente 21% de satélites al número dado por la tabla del ANEXO 1.

#### SISTEMAS MÓVILES VÍA SATÉLITE.

En la actualidad hay una serie de sistemas de telefonía móvil que usan redes de satélites para proporcionar una cobertura global. La mayoría de estos sistemas usan satélites GEO y sus terminales móviles son muy grandes. También hay propuestas de sistemas de satélites LEO y MEO.

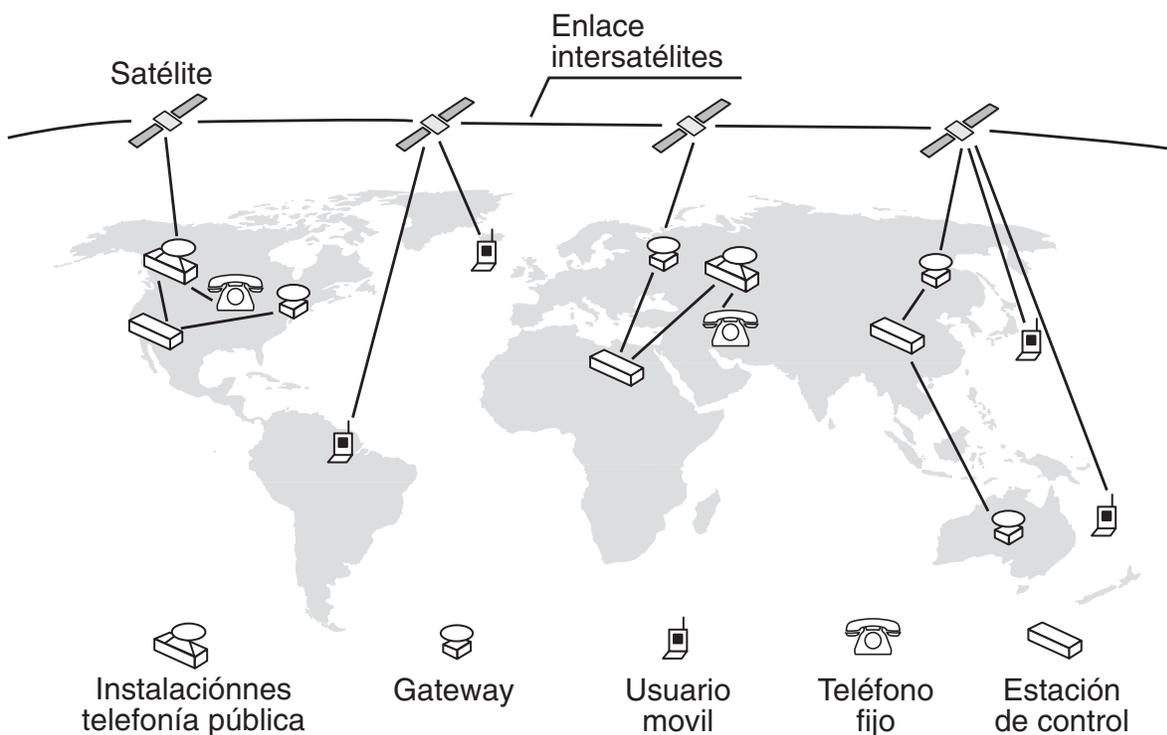


FIGURA IV.5. Ejemplo de una red de comunicaciones personales.

#### *Sistemas de telefonía móvil vía satélite operativos.*

Algunos sistemas de telefonía móvil vía satélite son INMARSAT (*International Maritime telecommunication Satellite*) que corresponde con la primera generación de sistemas de comunicación móvil con satélites. INMARSAT es un sistema de satélites GEO que usan la banda L para proveer de servicio de telefonía a barcos. En su primera generación se definieron cinco estándares: estándar A (1982), estándar B (1993), estándar C (1991), estándar M (1992/1993) y el estándar aeronáutico (1992). El peso de sus terminales varía entre 5 y 25 kg.

Otros sistemas de comunicaciones móviles vía satélite de primera generación son QUALCOMM, que da servicio a Norteamérica desde 1989, ALCATEL QUALCOM, en Europa desde 1991, y el sistema japonés NASDA, que empezó en 1987.

Alrededor de 1995 se dio paso a los sistemas de segunda generación, con el estándar mini-M de INMARSAT. Otros sistemas de segunda generación son el AMSC (*American Mobile Satellite Corporation*), NSTAR de Japón, EMS (*European Mobile Satellite*) y el OPTUS en Australia.

Los sistemas de comunicaciones LEO se clasifican en dos tipos. Los sistemas “little-

LEO” utiliza satélites LEO de pequeño tamaño y bajo peso para aplicaciones por debajo de 1 Kbps. Tres han sido las organizaciones que han recibido licencias para su desarrollo y puesta en funcionamiento: ORBCOMM (*Orbital Communications Corporation*); VITASAT (*Volunteers in Technical Assistance*); y STARNET. Los sistemas “big-LEO”, comparándolos con los sistemas “little-LEO”, se caracterizan por ser los satélites de mayor tamaño y por disponer de mayor potencia y ancho de banda para poder proporcionar diferentes servicios a sus usuarios, que incluyen servicios de voz, transmisión de datos, fax y radiodeterminación.

GLOBALSTAR es la propuesta del *Loral Qualcomm Satellite Services*, y se diferencia de IRIDIUM principalmente en que utiliza la técnica de acceso CDMA. El sistema lo forman cuarenta y ocho satélites en ocho órbitas inclinadas y a una altura de 1414 km. También ha sido diseñado como complemento de la red de telefonía pública conmutada (PSTN), a la que accesa vía *gateways*.

Otra serie de sistemas de comunicaciones móviles vía satélite han sido propuestos, como es el de la ESA, llamado LEONET, con quince satélites en tres órbitas con 54° de inclinación.

INMARSAT ha propuesto un sistema de satélites MEO, con doce satélites a una altura de 10 400 km. Este sistema utiliza TDMA y multiplexación por división en frecuencia.

Otro sistema es el propuesto por Ellipsat, llamado ELLIPSO.

#### CONSTELACIONES DE SATÉLITES

Como se ha mencionado anteriormente, las principales razones para utilizar satélites de comunicaciones se pueden resumir en:

- La posibilidad de cubrir grandes áreas geográficas.
- La facilidad de establecer comunicaciones punto-multipunto.
- Independencia total respecto a la distancia.
- Existencia de estaciones fijas y móviles con posibilidades de transmitir desde o hacia puntos en el aire, mar y tierra.

Una constelación de satélites es un conjunto de satélites idénticos, distribuidos en varios planos orbitales, cuyas órbitas generalmente tienen la misma altitud. Los satélites se mueven en sincronía con sus trayectorias relativas a la tierra que son idénticamente repetidas después de un tiempo determinado.

En la tabla IV.4 se muestra el tipo de servicios que se pretenden dar por medio de las diferentes redes satelitales.

A continuación se muestran ejemplos concretos de redes satelitales cuyo segmento espacial se encuentra en las órbitas GEO, MEO y LEO.

Voz	Datos por banda ancha	Datos por banda angosta	Mensajería	Navegación	Pagers
Iridium	Teledesic	Iridium	Orbcomm	GPS	Iridium
Globalstar	SkyBridge	Globalstar	Leo One	Glonass	Globalstar
Teledesic	Orblink	ICO	Final Analysis	GNSS	Orbcomm
ICO	Pentriad	Orbcomm	E-Sat		Odyssey
Ellipso	Celestri	Odyssey	KITComm		Gemnet
Constellation	Astrolink	Gemnet	Courier		GE Starsys
Mini-M	Cyberstar	GE Starsys	Starsys		
Celestri	Sky Station	VITAsat	Picosat		
Super-Geo	M-Star	FAISAT			
Odyssey	HALO				

TABLA IV.3. *Tipos de servicios de redes satelitales.*

#### SISTEMA INMARSAT (GEO)

La organización internacional INMARSAT fue establecida en 1979 con la iniciativa de un gran número de gobiernos, incluyendo a la ex Unión Soviética, para proporcionar comunicación marítima y para asegurar la seguridad en la navegación. Actualmente, INMARSAT ofrece con bases comerciales sus facilidades técnicas para proporcionar comunicación global de alta calidad entre móviles no solamente en el mar sino también aéreos y terrestres. INMARSAT incluye 83 estados participantes. El número de miembros de INMARSAT sigue creciendo.

El sistema INMARSAT utiliza una constelación de cuatro satélites operativos, y al menos uno de reserva, que proporcionan cobertura mundial (excepto los cascos polares). Para poder ofrecer esta cobertura, los satélites de órbita geostacionaria han sido distribuidos sobre los océanos de la siguiente forma:

1. Atlántico, que se divide a su vez en dos regiones:
  - Atlántico este (AOR-E)
  - Atlántico oeste (AOR-W)
2. Índico (IOR)
3. Pacífico (POR)

La primera generación de satélites utilizados por INMARSAT estaba formada por un conjunto heterogéneo de satélites alquilados. Concretamente, se utilizaron 2 satélites a través de COMSAT que trabajaban en el sistema MARISAT, 2 satélites MARECS proporcionados por la ESA y 3 satélites de INTELSAT con subsistemas MCS.

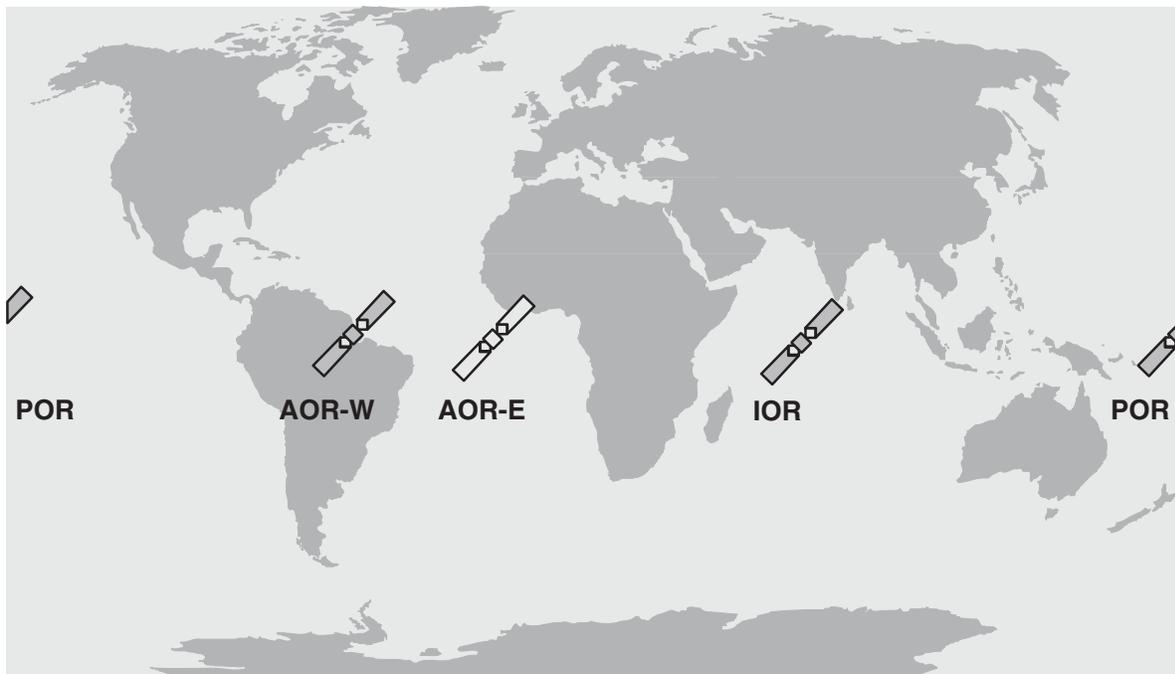


FIGURA IV.6. *Distribución de los satélites de INMARSAT.*

Entre 1990 y 1992 fueron enviados los 4 primeros satélites específicos de Inmarsat, la generación de los Inmarsat-2. Cada uno de estos satélites tenía una capacidad equivalente de 250 circuitos simultáneos de voz del estándar Inmarsat-A

La tercera y última generación de satélites, Inmarsat-3, forma una constelación de 4 satélites más uno de reserva. Cada uno de estos satélites tiene una capacidad equivalente, en circuitos de voz simultáneos, ocho veces superior a la de los Inmarsat-2.

El 4 de abril de 1996 se lanzó el primero de los cinco satélites Inmarsat-3, y los demás le siguieron en intervalos regulares, hasta el último de ellos, puesto en órbita el 5 de febrero de 1998. Inmarsat-3 soporta comunicaciones comerciales, proporcionando una capacidad adicional para comunicaciones móviles marítimas, aeronáuticas y terrestres en las regiones de cobertura de alto tráfico del océano Índico y Atlántico oriental. La tercera generación de Inmarsat aumentó la posibilidad y la utilidad de la comunicación móvil a nivel mundial, haciendo posible la disminución de las tarifas de los servicios de comunicaciones, funcionando con terminales incluso más pequeños, más económicos y transportables. En particular, en enero de 1997 y gracias al nuevo sistema, se introdujeron teléfonos vía satélite, más pequeños que los ordenadores portátiles, A4 y que pesan 2.2 kg incluyendo la batería. Estos teléfonos, utilizados por más de 17000 usuarios a comienzos de 1998, ofrecen servicios de voz, datos a 2.4 kbit/s y fax.

A lo largo de los años 97 y 98 se han introducido otros servicios muy avanzados como los mensajes por Internet y más recientemente la comunicación móvil multimedia vía Inmarsat-B. Esta última proporciona datos a alta velocidad a 64 kbit/s. De hecho,

INMARSAT suministra conectividad para Internet y cobertura para vídeo en directo desde el lanzamiento del satélite F5 usando el sistema Inmarsat-B.

INMARSAT ofrece un amplio rango de servicios que incluye teléfono, fax, telex y datos. La telefonía es automática de la embarcación a tierra y se realiza de la misma forma que una llamada internacional, una vez elegida la LES deseada. En el sentido tierra a embarcación se marca un código internacional de acceso, seguido del correspondiente a la región oceánica donde se supone que está la embarcación y del número de identificación del mismo. Desde algunos países este servicio se realiza a través de operadora. El servicio de télex es totalmente automático con toda la red internacional.

Aprovechando los canales telefónicos y con terminales adecuados, es posible el servicio de fax.

Actualmente el uso de la transmisión de datos está creciendo de forma importante por parte de los operadores de comunicaciones de barcos, yates, torres de perforación, etc. debido a la necesidad de contacto sistemático con tierra firme. Algunas de estas nuevas funciones son:

1. Gestión de las embarcaciones. Los operadores de comunicaciones de cada flota utilizan Inmarsat-A/B para monitorizar el inventario, acceder al servicio de información de meteorología y adaptar las rutas, gestionar los archivos del personal como por ejemplo las nóminas, etc. Este servicio permite a las embarcaciones cumplir con la normativa del ISM (*International Safety Management*).
2. Transmisión de imágenes y vídeo. En horas de poco tráfico se envía TV comprimida, codificada y digitalizada hacia embarcaciones que disponen del equipo de recepción adecuado. Las empresas proveedoras ofertan este servicio con tasas muy elevadas de transmisión vía Inmarsat-A/B. El servicio HSD (*High Speed Data*) permite a los pasajeros de embarcaciones que realizan trayectos transoceánicos participar en videoconferencias. También es útil para transmitir información sobre movimientos sísmicos. Por último, pero no menos importante, permite asistencia técnica por parte de ingenieros de tierra firme en el caso de que fuera necesario.
3. Intercambio de datos electrónico, EDI (*Electronic Data Interchange*). El servicio EDI es utilizado para la entrega de documentos en las estaciones aduaneras vía Inmarsat-A/B antes de la llegada de la embarcación. Este servicio agiliza los trámites en las aduanas permitiendo a las embarcaciones reanudar su viaje más rápidamente.
4. Informes sobre posición y otros datos. Inmarsat-C soporta la transmisión de datos tales como la posición, ruta, velocidad, reserva y consumo de combustible de las embarcaciones cada cierto intervalo de tiempo preestablecido. El hecho de que sea Inmarsat-C el que provea este servicio se debe, sobre todo, a que es capaz de integrarse con un amplio grupo de sistemas de navegación tales como GPS o Glonass. Este servicio es de gran utilidad para las propias navieras y para los servicios de rescate.

5. Correo electrónico. Todos los estándares de Inmarsat soportan este servicio en las comunicaciones marítimas. Inmarsat es capaz de establecer conexión con X.400, X.25 e Internet y de permitir el establecimiento de redes WAN (wide area network) para usuarios remotos.
6. Cabinas telefónicas (*payphones*). Cualquier persona a bordo puede tener acceso a los servicios de Inmarsat a través de unos teléfonos en los que se paga con tarjetas de crédito.
7. Correcciones de la carta de navegación electrónica. La actualización periódica de las cartas de navegación electrónicas permite un incremento muy significativo de la seguridad en el mar.

También se ofrecen servicios de llamada de grupo o EGC (*Enhanced Group Calls*) en los que es posible enviar información desde tierra a todas las embarcaciones de una zona, de una nacionalidad o de una flota. Los terminales de las embarcaciones deben ser programados para recibir este servicio. Una cabecera especial se añade al texto para indicar el grupo determinado de usuarios o el área geográfica que va a recibir el mensaje. Existen dos tipos:

- Safety NET: se envían mensajes de seguridad a áreas geográficas específicas. Este servicio lo utilizan las autoridades de costas, meteorológicas, de rescate, etc.
- Fleet NET: permite enviar información a un número supuestamente ilimitado de móviles previamente determinado. Este servicio se utiliza para la distribución de noticias económicas, deportivas, análisis meteorológicos, etc.

La radiodifusión por canal telefónico es otro servicio dirigido a grupos de embarcaciones. Este servicio sólo está disponible si se utilizan procedimientos específicos para completar el margen de las frecuencias bajas (50 a 300 Hz) y se mejora la audición.

Las comunicaciones de socorro, urgencia y seguridad marítimas tienen prioridad absoluta y máxima fiabilidad, siendo considerados aspectos clave del sistema Inmarsat. Los equipos del barco tienen un botón de “pánico”, que cuando se pulsa realiza una transmisión de un mensaje de SOS, incluyendo la identificación del barco y su posición, que llega al centro de coordinación de rescate a través de la LES enlazada.

#### EL SISTEMA ICO (MEO)

El sistema ICO se creó en enero de 1995 como una compañía privada con la finalidad de ofrecer servicios similares a los que ofrecen los teléfonos celulares digitales actuales (voz, datos, fax y mensajería) pero dando cobertura a cualquier punto de la superficie de la Tierra. Para poder proporcionar esta cobertura global, el sistema integra el uso de una red terrestre denominada ICONET con la capacidad de las comunicaciones móviles por satélite.

El rasgo diferencial de este sistema con respecto a los otros sistemas de telefonía móvil vía satélite que están en proyecto actualmente es que la inteligencia del sistema se concentra en la red terrestre y no es necesaria ninguna conexión entre satélites. En otros sistemas como por ejemplo IRIDIUM la inteligencia del sistema es compartida por los satélites y las estaciones terrenas. El hecho de que el cerebro de la red sean las infraestructuras terrestres hace que aumente la flexibilidad del sistema al mismo tiempo que le da mayor robustez y fiabilidad.

El sistema está formado por 12 satélites de órbita media (10 operativos y 2 de respaldo) y por 12 estaciones terrenas o SAN (*Satellite Access Node*). Los SAN's se distribuyen a lo largo de la geografía terrestre y están conectados entre ellos formando un anillo, de manera que se forma una red denominada ICONET, que proporciona el enlace entre los satélites y las distintas redes de telefonía fija, móvil o de datos.

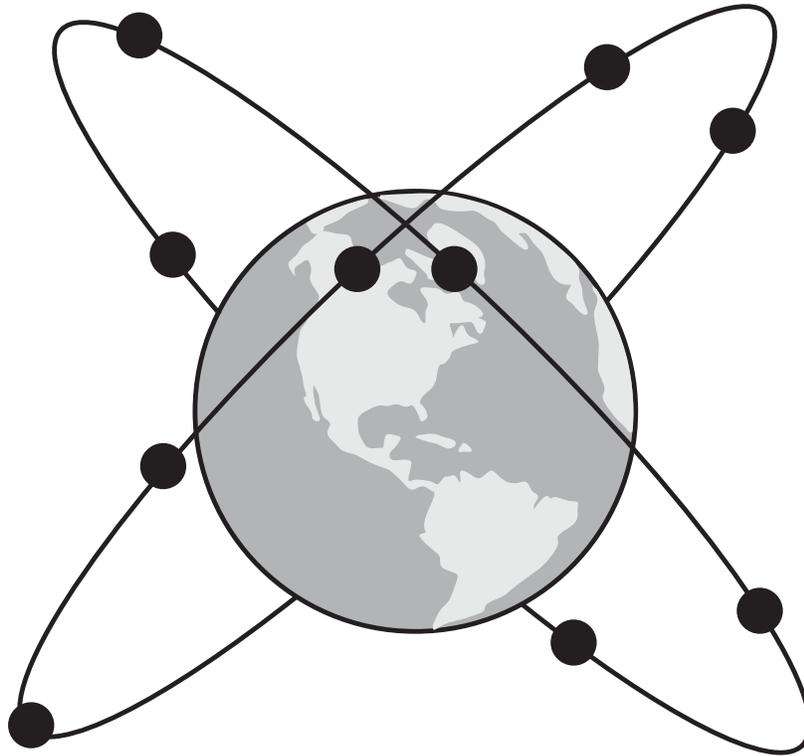


FIGURA IV.7. Planos del la red satelital ICO.

Por lo tanto, cuando un usuario de ICO quiere conectarse al sistema, su llamada es recibida por un satélite. Éste, actúa como repetidor y reenvía la señal al SAN más cercano, el cual encamina la llamada hacia su lugar de destino.

Cuando la llamada proviene de cualquier otra red, el correspondiente SAN encamina la llamada hacia el SAN más cercano a la zona donde se encuentra el abonado destino.

Dicho SAN será el que enviará la señal al satélite para que éste la repita hacia el abonado destino.

Por otra parte, como ocurre en todos los sistemas de telefonía celular, los abonados deben estar en todo momento perfectamente localizados para poder dirigirles las llamadas. Para ello, se sigue el estándar de GSM basado en el uso de HLR y VLR en cada SAN. Cuando un usuario enciende su terminal, envía una señal al satélite más cercano. Éste, a su vez, se conectará con el SAN más próximo el cual iniciará el encaminamiento hacia el SAN donde está el HLR del usuario. Si los datos del usuario son correctos se le permitirá el acceso al sistema y quedará inscrito en el VLR del SAN en cuya zona está situado. De esta forma, el usuario, después de conectarse queda inscrito en el VLR y ya puede enviar y recibir llamadas.

La construcción de los satélites comenzó en Julio de 1995; se trata de versiones del satélite ya diseñado HS 601 con ciertos subsistemas modificados para adaptarlos a los requerimientos especiales de los satélites de órbita media. Una de las ventajas de la órbita media es que no es necesario colocar los satélites en una órbita de aparcamiento para luego trasladarlos hasta la órbita definitiva sino que el mismo vehículo de lanzamiento es capaz de llevar el peso del satélite (2600 Kg.) hasta la órbita final. Esto permite simplificar el sistema estándar de propulsión del modelo HS 601 ya que no se hace necesario incluir un motor de apogeo. Gracias a esto podemos sustituir el tradicional motor de combustible líquido bipropelente por un motor más simple de inyección directa que usa monopropelente.



FIGURA IV.9. *Satélite HS 601.*

El interfaz entre la red de satélites y las otras redes terrestres (redes telefónicas fijas, redes celulares, redes de datos, etc.) es la ICONET (compuesta por los 12 SAN).

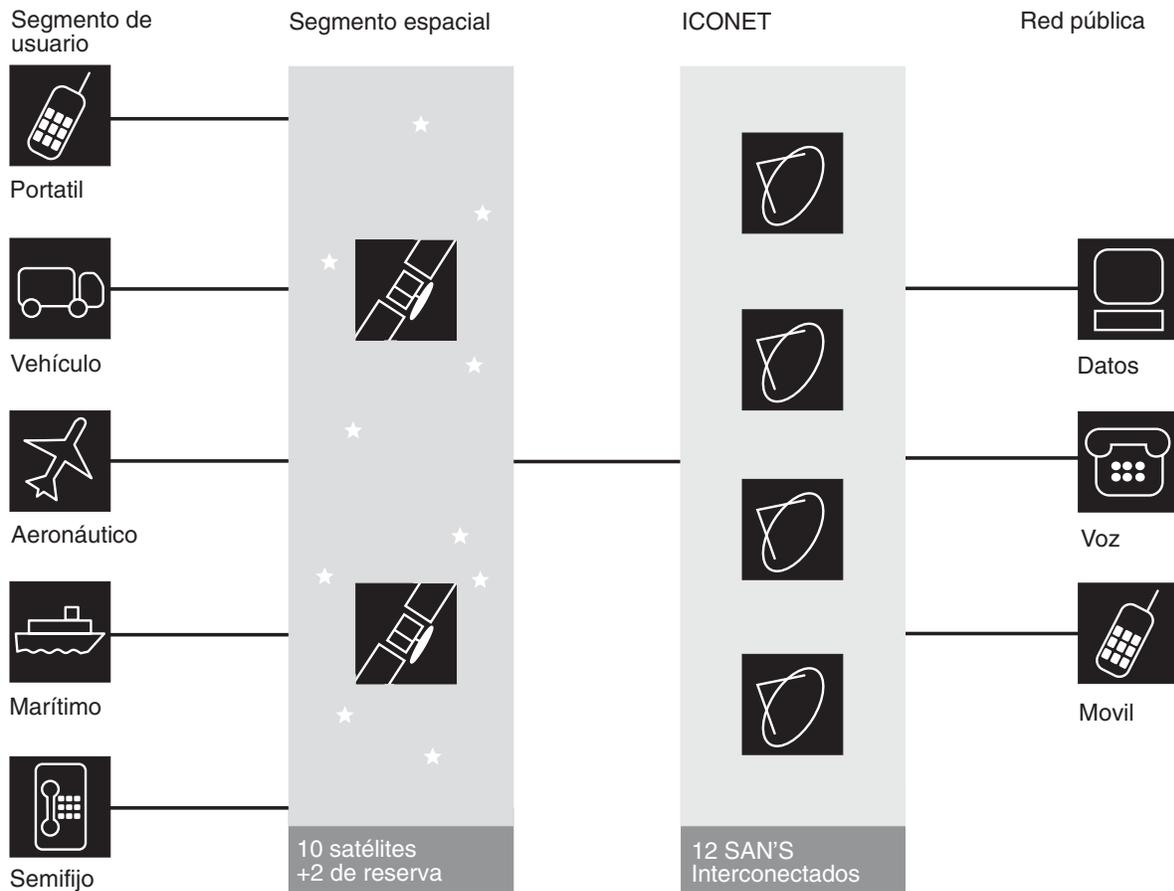


FIGURA IV.9. Modelo de comunicación de ICO.

El sistema ICO proveerá a sus usuarios de una gran cantidad de servicios con cobertura global, acordes con las demandas actuales y futuras del mercado, entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- Voz digital.
- Buzón de voz.
- Servicios de valor añadido.
- Transmisión de datos.
- Fax.
- Servicios de mensajería.

Para poder soportar todos estos servicios, los terminales ICO están diseñados para introducir en ellos una serie de características opcionales, como pueden ser un puerto externo, un buffer interno, tarjetas inteligentes (*Smartcards* o SIMs), antenas integradas para comunicaciones vía satélite, etc.

Por otra parte, el sistema ICO ofrece diversos servicios en función del mercado al que van dirigidos, ofreciendo soluciones a los problemas específicos de cada sector. La compañía ha decidido dividir su oferta entre los siguientes campos: telefonía personal, servicios de negocios, servicios a zonas remotas, servicios gubernamentales, servicios de transporte, servicios aeronáuticos, servicios marítimos y servicio celular.

### **Telefonía personal**

ICO ofrece a este respecto:

- Terminales ligeros.
- Transmisión de voz, datos, fax, mensajes cortos, buzón de voz...
- Posibilidad de utilizar las redes celulares vigentes.
- Un sólo número para todas las aplicaciones.

### **Servicios de negocios**

Van enfocados a la posibilidad de tener negocios en zonas inaccesibles al teléfono fijo o al móvil. En este caso ICO tiene tres paquetes comerciales:

El básico: Terminal remoto fijo que ofrece transmisión de voz, fax, mensajes cortos, etc.

El avanzado: Este incluirá además, la transmisión rápida de datos, imágenes, etc.

El móvil: Permite tener la movilidad que no tienen los servicios fijos.

### **Servicios a zonas remotas**

Estos servicios se ofrecerán a través de:

- Teléfonos fijos.
- Un sistema de interfaz.
- Una antena de ICO.

En zonas rurales se ofrecerá la posibilidad de transmitir voz, así como de proveer de números de emergencia a médicos, y a servicios antiincendios, de seguridad, etc.

Los terminales tendrán la forma de típicos teléfonos públicos, estos terminales podrán funcionar con tarjeta y serán autónomos (se alimentarán con placas solares), además su manejo será muy sencillo (con claras instrucciones de uso) y estarán protegidos contra vandalismo.

### **Servicios gubernamentales**

Aquí ICO ofrece:

- Comunicaciones seguras de voz, datos, fax, mensajes cortos...
- Alta calidad y duración de sus equipos.
- Posibilidad de encriptar y descifrar mensajes.

ICO ofrecerá terminales protegidos contra temperaturas extremas, humedad, inmersiones, choques, etc.

Además ofrecerá servicios móviles aéreos, marítimos, militares, etc.

### **Servicios de transporte**

ICO proporcionará cuatro tipos de servicios:

- Control del transporte de mercancías valiosas o peligrosas monitorizando continuamente la posición del vehículo en un panel de control de un PC, y con la posibilidad de dar un aviso de emergencia. El equipo incluye además del terminal, un GPS y una antena externa.
- Comunicaciones para compañías de transporte. El equipo incluye terminales de voz y datos conectables a ICO y a redes celulares.
- Planificación de transporte. Esto ofrece la posibilidad de conocer la posición de la flota de vehículos de una empresa en todo momento y de tener información en tiempo real de las rutas más factibles a seguir por el estado de las carreteras, el tiempo, etc.
- Comunicaciones de pasajeros con el exterior del vehículo mediante terminales en los vehículos.

### **Servicios aeronáuticos**

Van enfocados a pasajeros de aviones. Los servicios son los siguientes:

- Teléfono, fax, datos y mensajes.
- Transmisión rápida de datos.
- Envío de correo electrónico.
- Acceder a bases de datos de información.

### **Servicios marítimos**

Los usuarios y los servicios serán los mismos que los aeronáuticos. Habrá varios tipos de terminales:

- Terminales multicanales (para barcos grandes). Poseen transmisión rápida de datos y pueden ser montados en el puente de mando.
- Terminales simples o multicanales (para barcos medianos o pequeños) que contemplan la transmisión más lenta de señales.
- Terminales portátiles.

### **Servicios celulares**

Los servicios celulares incluyen todas las características que ofrecen las redes de telefonía móvil celular en la actualidad. ICO será completamente transparente a este tipo de usuarios, es más, desde un terminal de ICO podrá elegirse si se desea una comunicación celular convencional o por satélite. A continuación se mencionan varios tipos de usuarios para los cuales se pensó este servicio.

- Usuarios de telefonía móvil terrestre que quieren extender la zona de cobertura de que disponen actualmente con sus operadores. Estos usuarios deberán llevar terminales de mano ICO, con modo dual, que permiten conectarse al sistema ICO cuando no obtienen cobertura de su operador de telefonía móvil terrestre.
- Usuarios que trabajan o viven en zonas que no cubren los operadores de telefonía móvil terrestre.
- Aviones, barcos y vehículos de tierra que necesitan comunicaciones móviles allá donde se encuentren. Para estas aplicaciones no se utilizarán terminales de mano como en los casos anteriores sino otro tipo de terminales especializados.
- Usuarios que desean conectarse a otras redes desde puntos de la geografía donde no llegan dichas redes.

#### EL SISTEMA GLOBALSTAR (LEO)

La constelación de Globalstar consta de 52 satélites de los que 4 son de reserva y los 48 restantes se distribuyen en 8 planos orbitales de  $52^\circ$  de inclinación y separados entre sí  $45^\circ$ . En cada plano hay 8 satélites equiespaciados  $60^\circ$  que tienen órbitas circulares situadas a una altura de 1414 Km, con un periodo orbital de 113 min.



FIGURA IV.10. Constelación de satélites de Globalstar.

Debido a la cercanía de las órbitas, los retardos de propagación son pequeños en Globalstar, también son pequeños los satélites (unos 500 Kg), La cobertura proporcionada es del 100 % entre  $+70^\circ$  y  $-70^\circ$  de latitud, incluso con cobertura múltiple en zonas templadas donde se pueden utilizar más de tres satélites para una llamada en cualquier instante.

Dentro de la zona que delimita la superficie de un solo haz un terminal de usuario puede comunicar con el satélite con un ángulo de elevación por encima de los  $10^\circ$ . Este alto ángulo de elevación provoca la reducción de la cobertura múltiple, pero hace que el terminal necesite menos potencia para establecer la comunicación. Por otra parte, un ángulo de elevación reducido permite proporcionar cobertura en los polos pero hace que las antenas a emplear tengan una elevada ganancia direccional.

La constelación y la arquitectura del sistema Globalstar es similar a la Iridium, sin embargo carece de enlaces entre los satélites, lo que hace necesaria la existencia de entre 100 y 200 estaciones terrenas que sirvan de interfaz con la red pública conmutada.

El sistema emplea técnicas de transmisión digital. El método de acceso múltiple elegido es CDMA, en coherencia con el hecho de que Globalstar es promovido por Qualcomm, la misma empresa que promovió el nacimiento de IS-95. El ancho de banda de transmisión es de 1.25 MHz y opera en las bandas L (1610-1626.5 MHz), para usuarios-satélites y S (2483.5-2500 MHz), para satélite-usuario, que son las bandas del servicio móvil por satélite (SMS). La PIRE máxima de los equipos de usuario es de 26 dBm, similar a la de los teléfonos celulares.

Para cursar una llamada el satélite la encamina entre el usuario y la red de estaciones terrenas, cada una de las cuales puede servir a usuarios situados a una distancia de hasta 1000 Km. Para proporcionar la mayor calidad posible Globalstar está diseñado para que cada comunicación discorra la mayor parte del tiempo a través de dos satélites simultáneamente, usando así la diversidad en espacio. Además hay otras técnicas empleadas para maximizar la calidad, como son el handover suave y el control de potencia.

El sistema Globalstar está diseñado para complementar y extender, no reemplazar la infraestructura existente de la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN) y la Red Móvil Pública Terrestre (PLMN).

Globalstar ha sido diseñada para que todas las llamadas, incluyendo las internacionales, entren cerradamente en la existente red de telefonía del proveedor de servicio. Esto proporciona al proveedor de servicio Globalstar oportunidades de ingresos adicionales y permite a las autoridades locales de regulación, ejercer su nivel habitual de control regulatorio.

Las llamadas realizadas desde un terminal de usuario Globalstar se intentarán conectar a través de la estructura celular existente, y si esto no es posible se hará mediante el sistema de satélites Globalstar. La llamada es entonces encaminada a través del satélite hacia un *Gateway* que la encaminará al sistema nacional PSTN/PLMN a su destino final. Así Globalstar actúa como complemento y extensión de la infraestructura exis-

tente. Esto minimiza los costos de interconexión con las redes existentes ya que el interfaz es el *gateway* y genera ingresos adicionales para las infraestructuras existentes ya que cursa llamadas que iban a perderse.

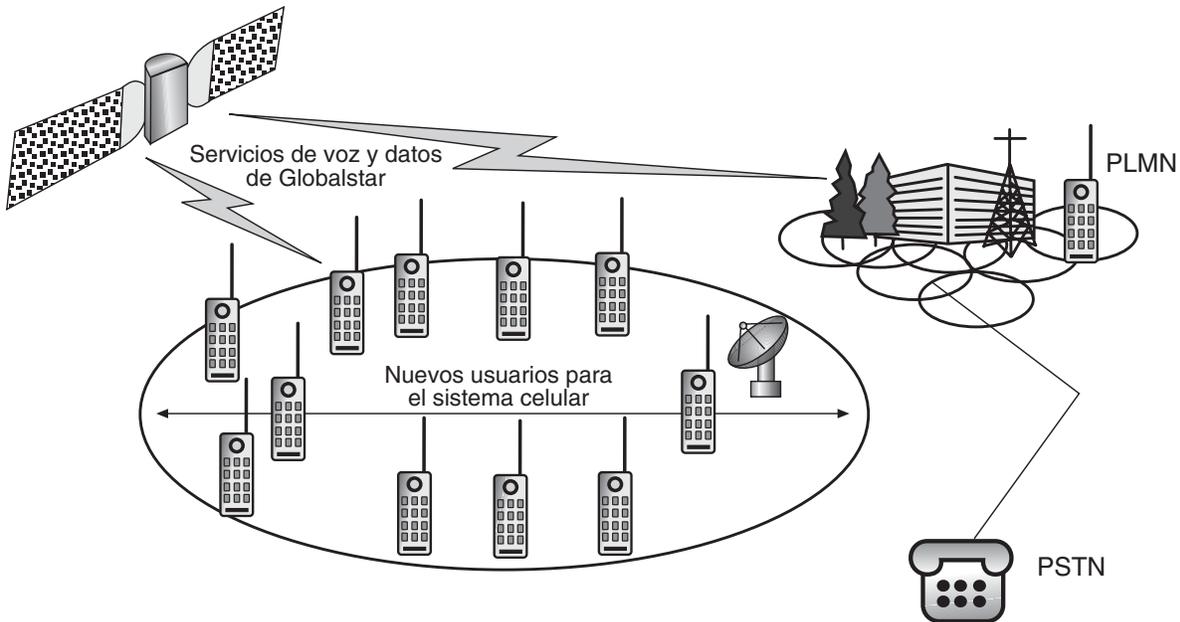


FIGURA IV.11. Esquema de comunicación de Globalstar.

Se espera que en los próximos años GSM se convierta en el sistema celular digital dominante en el mundo y Globalstar debe proporcionar servicio a los usuarios de GSM cuando éstos estén fuera de cobertura. Además, el uso de sistema de facturación, administración y atención al usuario comunes para ambos sistemas debe suponer un notable ahorro para los operadores. Es, por lo tanto, importante que Globalstar sea compatible con las siguientes características de GSM:

- Gestión de la movilidad: HLR y VLR.
- SIM.
- Autenticación y seguridad (EIR y AuC).
- Facturación.
- Servicios de mensajes cortos.

Para lograr la integración de ambas redes es necesario lograr que el usuario disponga de un único número de abonado que le permita operar en ambos sistemas y ser llamado cuando esté conectado a cualquiera de ellos. Además se debe lograr una unificación en el proceso de facturación.

La constelación GLOBALSTAR completa está compuesta por 52 satélites móviles. Cuarenta y ocho son satélites principales que fueron colocados a 1414 Km de la Tierra en órbita circular y distribuidos en 8 planos inclinados a  $52^\circ$  respecto del ecuador. Los

4 satélites restantes se colocan en órbitas intermediarias, en reserva de los satélites principales.

Los satélites Globalstar son satélites “transparentes”, que actúan como simples repetidores entre los terminales GLOBALSTAR y la estación terrena más cercana para la interconexión con las redes terrestres nacionales.

Vuelta del mundo	2 horas
Volúmen	1 metro cúbico
Potencial eléctrica	1900 Watt con un promedio de 1000 Watt
Peso	440 Kg (incluyendo 80 Kg de combustible)
Vida útil	hasta 10 años
Construcción y lanzamiento de la constelación	16 a 19 meses.

TABLA IV.4. Características de los satélites de GLOBALSTAR.

#### REFERENCIAS

- [http://helios.etsit.upv.es/asig/5º/tel\\_espaa](http://helios.etsit.upv.es/asig/5º/tel_espaa) : Trabajos en web de años anteriores.
- <http://www.ico.com> : Página de ICO Global Communications.
- <http://www.globalstar.com> : Página de Globalstar.
- <http://www.iridium.com> : Página de Iridium.
- <http://www.ellipso.com> : Página de Ellipso.
- <http://www.inmarsat.org> : Inmarsat es la organización de la cuál nació ICO.
- <http://www.hughespace.com> : Hughes Space and Communications Internacional Inc es la encargada de desarrollar el sistema de satélites de ICO.
- <http://www.ericsson.com> : Ericsson es la encargada junto con NEC y HNS de desarrollar la ICONET.
- <http://www.nec.co.uk> : NEC desarrolla junto con Ericsson y HNS la ICONET. Además fabrica los terminales móviles de ICO.
- <http://www.hns.com> : HNS desarrolla junto con NEC y Ericsson la ICONET.
- <http://www.infonet.com> : Infonet Services Corporation proporciona la infraestructura necesaria para el sistema de TT&C.
- <http://www.mitsubishiwireless.com> : Mitsubishi colabora en la fabricación de los terminales móviles.
- <http://www.dvsinc.com> : Digital Voice Systems Inc. proporciona el sistema de compresión de voz.

## V. COMPONENTE SATELITAL

En IMT-2000 la componente terrestre y la componente satélite son complementarias, la primera ofrece cobertura en zonas en tierra con una densidad de población lo suficientemente grande haciendo que sea económicamente viable la instalación de sistemas terrestres, en cambio, la componente satelital con una cobertura global proporciona servicio en el resto. La cobertura global en IMT-2000 sólo se puede implementar haciendo una combinación de las dos componentes.

Los servicios de comunicaciones que proporcionan los satélites, excepto aquellos con tasas binarias muy bajas como el *paging*, sólo pueden obtenerse en condiciones de propagación sin obstrucciones como: entornos abiertos (suburbanos o rurales), entornos marítimos y aeronáuticos, es decir, en aquellos entornos donde la cobertura terrestre no es técnicamente posible ni económicamente viable.

Las diversas interfaces de la componente satelital se muestran en la siguiente figura.

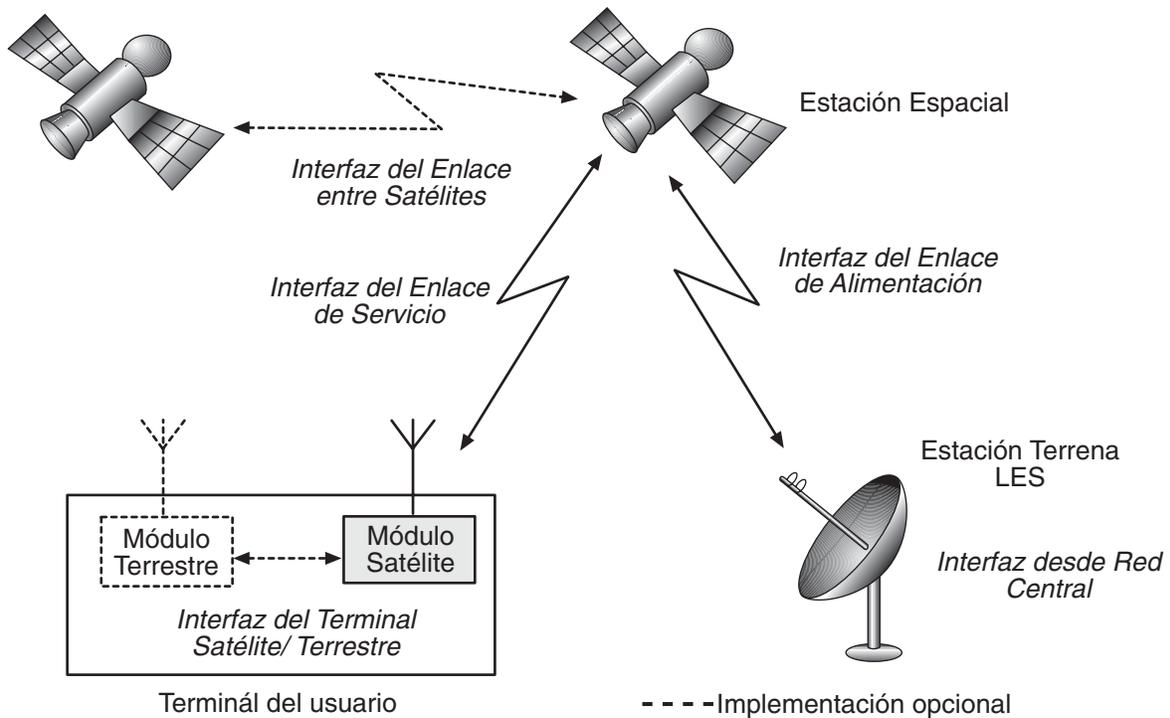


FIGURA V.1. Interfaces del componente satelital de IMT-2000.

La interfaz de enlace de servicio es la interfaz radio, considerada como el módulo satélite de una UT dual (terrestre y satélite), y una estación espacial o satélite. La interfaz del enlace de alimentación es la interfaz radio entre satélites y las estaciones terrestres (LES, Land Earth Station). Cuando se diseña un sistema satelital cada enlace de alimentación tiene sus propias características relacionadas con la arquitectura del sistema satelital y con las bandas de frecuencias de operación, que son distintas a las bandas de frecuencias reservadas para IMT-2000. Por tanto, la interfaz del enlace alimentación es una especificación interna para cada sistema y no son objeto de estandarización en IMT-2000.

La interfaz del enlace entre satélites es el enlace entre dos estaciones espaciales y muchos sistemas no lo implementan, este enlace tampoco requiere de estandarización en IMT-2000.

Aunque la interfaz con la red básica (CN, Core Network) y la interfaz entre el componente satélite y el componente terrestre del UT no son interfaces radio, sí tienen una relación directa con la interfaz radio del enlace de servicio. La interfaz de red básica puede tener una arquitectura compatible con la del componente terrestre. La interfaz se denomina  $l_{us}$  y tiene las mismas funciones que la interfaz  $l_u$  del componente terrestre por lo que es preferible un diseño lo más parecido y compatible posible con éste. Así podrá soportar requisitos claves de IMT-2000 como son: el encaminamiento de las llamadas, la itinerancia de red automática, la tarificación común, etc.

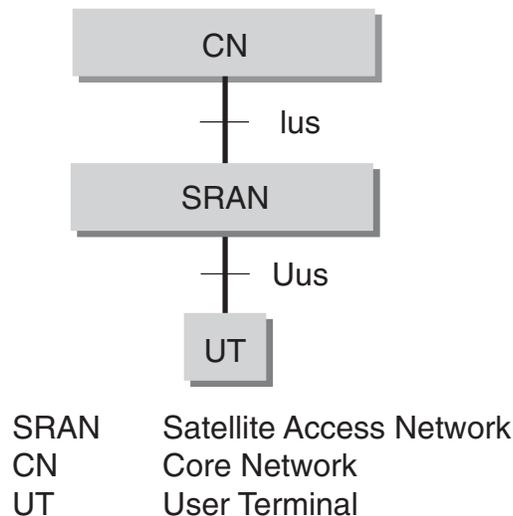


FIGURA V.2. Arquitectura de interfaces de la red de satélites.

La red de acceso radio satélite (SRAN, Satellite Radio Access Network), esta formada por las estaciones terrenas, LES, el satélite, el enlace de alimentación y los enlaces entre satélites si los hay. La SRAN usa la interfaz  $l_{us}$  para comunicarse con la CN y la interfaz  $U_{us}$ , interfaz de enlace de servicio, para comunicarse con el UT.

Como la componente satelital de IMT-2000 proporciona cobertura global, no es necesario establecer interfaces entre las SRAN de una red de satélites y las SRAN de otra red de satélites. La interfaz entre estaciones terrenas de una red satelital es interna por lo cual no es objeto de estandarización en IMT-2000.

Los terminales de usuario satélite ofrecerán uno o más modos de operación: un modo satélite y uno o más modos terrestres. Los terminales deben poder seleccionar el modo de operación automáticamente o por el usuario. Debe desarrollarse un protocolo que establezca que modo es el que debe de usarse en una llamada determinada, además para facilitar la itinerancia un usuario debe poder ser conectado mediante la marcación de un sólo número sin importar si el acceso al UT es por el componente terrestre o por el componente satélite.

Para los terminales que incorporen ambos componentes la interfaz satélite-terrestre es necesaria para permitir su interfuncionamiento. Esta interfaz tiene las siguientes funciones: Proporciona la negociación de las capacidades del servicio portador tanto en la red terrestre como satélite; da soporte a la itinerancia entre las redes terrestre y satélite y alinea la gestión y provisión de servicio.

El traspaso entre el componente terrestre y satélite no es un requisito en IMT-2000 por lo que su implementación es opcional. Si no se implementa, la itinerancia entre el componente terrestre y satélite puede ser una función de conmutación (si el terminal pierde su conexión con una red terrestre puede buscar una red satelital).

La localización del terminal se registra y actualiza entre las bases de datos de la red terrestre y satélite usando los procedimientos estándar de actualización de localización entre redes PLMN. Estos procedimientos pueden utilizarse también para la itinerancia de una red terrestre y una red satélite ya que ambas pueden verse como PLMN diferentes.

La ITU ha aceptado 5 propuestas para la componente satelital, a continuación se muestra una tabla con todas las propuestas para la interfaz radio de IMT-200. Como se observa son cinco para la componente satelital.

<b>Propuesta</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
SAT-CDMA	49 satélites LEO en 7 órbitas a 2000km S.	Korea TTA
SW-CDMA	Satellite wideband	CDMA ESA
SW-CTDMA	Satellite wideband hybrid	CDMA/TDMA ESA
ICO RTT	10 satélites MEO en 2 órbitas a 10390km	ICO Global Communications
Horizons	Sistema satelital Horizons	Inmarsat

TABLA V.1. *Propuestas de tecnologías de transmisión radio (RTT).*

A continuación se da una breve descripción de cada una de las cinco propuestas para la componente satelital.

### SW-CDMA

La agencia europea del espacio (ESA, European Space Agency) ha propuesto la interfaz radio satélite de banda ancha (SW-CDMA, Satellite Wideband CDMA) basada en la adaptación de la interfaz radio terrestre IMT-2000 CDMA de secuencia directa, UTRA FDD, al entorno satélite. Sólo se adapta la interfaz Uu manteniendo las mismas interfaces lu y Cu. Tiene muchos aspectos comunes con la interfaz radio terrestre facilitando la interoperabilidad entre la componente terrestre y la componente satélite de IMT-2000. Esta compatibilidad da beneficios a los usuarios de UMTS, a los fabricantes de equipos y a los proveedores de servicios.

SW-CDMA opera en un modo duplex por división de frecuencia (FDD, Frequency Division Duplex) con canales de radiofrecuencia (RF, Radio Frequency) de 2350 o de 4700MHz en cada dirección de transmisión.

SW-CDMA proporciona gran variedad de servicios portadores, desde 1.2 hasta 144Kbits/s. Con ello se da soporte a servicios de alta calidad incluyendo telefonía y datos en el entorno global que proporcionan los satélites. Las diferencias respecto a la interfaz radio terrestre UTRA FDD se resumen en:

- Régimen binario máximo limitado a 144 Kbits/s.
- Operación en el modo de traspaso más blando de forma permanente en el enlace directo para constelaciones que proporcionen diversidad de satélite. Esta diversidad de satélite permite tener una mejor calidad de servicio, QoS, sin afectar a la capacidad del sistema, a diferencia de los sistemas sin diversidad, que requieren mayores márgenes de enlace para compensar el desvanecimiento, *fading*, que se reduce notablemente al aumentar el número de satélites visibles simultáneamente.
- Precompensación Doppler en el centro del haz, tanto como para el enlace de alimentación como para el enlace de servicio. Esto reduce la complejidad del receptor.
- Proceso de adquisición del enlace directo en dos pasos en lugar de los tres pasos del sistema terrestre.
- Tasa de chip mitad para aumentar la granularidad en frecuencia y mejorar la distribución de bandas de frecuencias entre operadores.
- Introducción de un canal de búsqueda de alta potencia para proporcionar penetración en los edificios.
- Tasa de control de potencia reducida usando un lazo de control de potencia multinivel predefectivo para tener en cuenta los mayores retardos de propagación. El control se realiza trama a trama en lugar de intervalo a intervalo como en el modo terrestre.
- Longitudes más cortas (256 chips) de los códigos de dispersión en enlace directo.
- Además el uso de CDMA en constelaciones multisatélite permite el posicionamiento de los usuarios, mediante el proceso de la señal recibida, sin recurrir al uso de

medios externos como el sistema global de posicionamiento (GPS, Global Positioning System). Esta información no es solo necesaria para las llamadas de emergencia, sino que permite al sistema optimizar las estrategias de traspaso.

## Arquitectura

### *Estructura de canales*

En la capa física del enlace de servicio, compuesto por un enlace directo entre el satélite, el terminal de usuario y el enlace de retorno en la dirección opuesta, el flujo de información hacia y desde el terminal de usuario se transporta mediante canales lógicos. Estos canales lógicos usan canales físicos de transporte tal como se muestra en la siguiente tabla.

<b>Canales lógicos</b>	<b>Canales físicos</b>	<b>Dirección</b>
BCCH	CCPCH Primario	directa
FACH PCH	CCPCH Secundario	directa
DSCH	PDSCH PDSCCH	directa directa
RACH RTCH	PRACH	inversa
DCCH	DPDCH	bidireccional
DTCH	DPDCH	bidireccional
Señalización de capa 1	DPCCH	bidireccional

TABLA V.2. *Canales físicos y lógicos.*

Se preveen dos canales físicos de difusión en sentido directo: el canal físico común de control, CCPCH primario y secundario. El CCPCH primario soporta el canal de difusión de control, BCCH que se usa para difundir información de sistema e información específica de haz. El CCPCH secundario soporta dos canales lógicos: el canal de acceso directo FACH, que transporta información de control a un terminal de usuario específico cuando su posición es conocida, y el canal de búsqueda, PCH que se usa como canal de búsqueda de gran penetración.

El canal físico de acceso aleatorio, PRACH soporta el canal de acceso aleatorio, RACH, que lleva información de control, y el canal de tráfico aleatorio RTCH que transporta paquetes cortos de usuario.

El canal físico dedicado de control, DPDCH se usa para transportar datos de señalización de capa 1. El canal físico dedicado de datos DPDCH transporta bien

información de control, tal como señalización de capas superiores, por medio del canal dedicado de control, DCCH, y datos de usuarios bidireccionales por medio del canal dedicado de tráfico, DTCH.

Los servicios portadores anteriores pueden usarse para proporcionar servicios de conmutación de circuitos y de conmutación de paquetes. En el enlace directo, el tráfico de paquetes está soportado bien por el canal FACH, que es un canal descendente compartido, DSCH en el que se pueden compartir varios servicios de usuario usando una estructura de multiplexado temporal, o sobre un canal dedicado cuando los requerimientos de *throughput* son mayores. En el enlace inverso se puede usar el canal RACH para la transmisión ocasional de paquetes cortos. Para un tráfico de paquetes no ocasional pero con *throughput* moderado o ciclo de trabajo bajo. Las LES pueden asignar códigos adecuados al usuario para evitar colisión de códigos con otros usuarios del canal RACH. En este caso el canal de tráfico aleatorio, RTCH se proyecta sobre un canal físico de tipo RACH. Sin embargo, la parte de datos puede ser de longitud variable (en todo caso múltiplo de la longitud de la trama de la capa física). Para en el enlace inverso con mayor *throughput* de paquetes se puede asignar un par de canales DPCCH/DPDCH. El canal PDPCH se transmite sólo cuando la cola de paquetes no está vacía. También en este caso un paquete puede extenderse a varias tramas de la capa física. En este caso también se da soporte a la transmisión de tasa variable.

Se prevee como servicio unidireccional entre el satélite y el terminal de usuario un Servicio de Mensajes de Alta Penetración que soporta datos de baja velocidad con mensajes que contienen algunas decenas de bytes. Su objetivo principal es un servicio de búsqueda o llamada de alerta para terminales de usuario localizados en el interior de edificios.

### *Constelación y satélites*

En cuanto al tipo de constelación satelital que se requiere, la interfaz SW-CDMA ha sido diseñada para que pueda implementarse en constelaciones LEO, MEO, GEO o HEO. Aún cuando la diversidad de transmisión con múltiples satélites mejora las prestaciones del sistema. La interfaz SW-CDMA no requiere ninguna arquitectura en particular y puede usarse en transpondedores transparentes o transpondedores regenerativos.

## **Descripción del sistema**

### *Características del servicio*

Dependiendo del tipo de terminal del usuario, SW-CDMA soporta servicios portadores desde 1.2 Kbits/s hasta 144 Kbits/s con una tasa de bit erróneo máxima entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ . El retardo máximo tolerado es de 400ms que es compatible con las constelaciones mencionadas anteriormente.

### *Características del sistema.*

Tanto en el enlace directo como en el inverso se soportan dos tipos de ensanchamiento: tasa completa de 3840 Mchips/s y tasa mitad de 1920Mchips/s. La transmisión se organiza en tramas cuyo período es de 10ms para la opción de 3840Mchips/s y de 20 ms para la de 1920 Mchips/s. Las tramas se organizan en una estructura jerárquica. Una multitrama multifrecuencia (MF, Multi-Frequency) consta de 8 tramas para la opción de tasa completa o de 4 tramas para la opción de tasa mitad. El período de MF es de 80ms. Las multitramas se organizan a su vez en supertramas (SF, Super-Frame). Una SF consta de 9 MF y tiene un periodo de 720 ms.

Se implementa control de potencia en lazo cerrado tanto en el enlace directo como en el inverso, la función del lazo cerrado es conseguir un valor establecido de la relación señal ruido de interferencia (SNIR, Signal Noise Interference Radio) medida tras la combinación de los dedos del receptor RAKE. El valor objetivo se modifica de forma adaptativa por medio de un lazo de control externo más lento que se basa en medidas de la tasa de errores por trama (FER, Frame Error Rate). Para dar soporte a la medida de la FER se añaden 8 bits de código de redundancia cíclico (CRC, Cyclic Redundancy Code) a los datos de cada trama.

Se proporcionan tres categorías de servicio que permiten la adaptación de los diversos requisitos de QoS de los servicios por satélite seleccionados así como mejoras, si se requiere, mediante la selección de un servicio de codificación específica. Las categorías que se proporcionan son:

- Servicio estándar con un objetivo de BER de  $10^{-3}$ .
- Servicios de alta calidad con un objetivo de BER de  $10^{-6}$ .
- Servicios con codificación específica, en este servicio no se aplica ninguna codificación por corrección adelantada de errores (FEC, Forward Error Code) en la interfaz radio. La posible codificación se realiza en capas superiores.

## **SW/CTDMA**

La interfaz radio satélite de banda ancha (SW/CTDMA, Satellite Wideband Code Time Division Multiple Access), esta basada en un acceso múltiple híbrido en código y tiempo. El ancho de banda del canal puede ser de 2350 o de 4700MHz en cada sentido de transmisión.

SW/CTDMA se caracteriza por una estructura de intervalos temporales, una operación cuasi-síncrona del enlace ascendente que da lugar a una partición cuasi-ortogonal de los recursos radio de un haz en un sistema multihaz. SW/CTDMA soporta un esquema híbrido T/FDD en el que la transmisión tiene lugar en un intervalo temporal diferente al de la recepción, y en una banda de frecuencia diferente. La opción de tasa mitad proporciona una granularidad más fina del espectro, así como mayor robustez respecto a la sincronización y seguimiento con chip en canales con cambios doppler muy grandes.

El SW/CTDMA proporciona un amplio abanico de servicios portadores desde 1.2 hasta 144 Kbits/s. Se da soporte a servicios de alta calidad, incluyendo telefonía y servicios de datos en un entorno de cobertura global. Proporciona características adicionales específicas del entorno satélite tales como la provisión de un canal de búsqueda de alta penetración.

Las características principales y más atractivas de SW/CTDMA son:

- SW/CTDMA proporciona mayor capacidad que los sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, Time Division Multi Access) o de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA, Frequency Division Multi Access) de banda estrecha.
- Proporciona un modo de operación híbrido T/FDD que requiere menos características de diplexión de antena en los terminales.
- Proporciona mayor flexibilidad de asignación de recursos gracias a la partición ortogonal TDM/TDMA de un gran porcentaje de los recursos radio sobre el CDM/CDMA.
- Permite una reutilización completa de la frecuencia simplificando la planificación de frecuencias.
- Proporciona un posicionamiento preciso del usuario sin necesitar de medios externos.
- Soporta un servicio de mensajería de alta penetración.

## Arquitectura

### *Estructura de canales*

Las especificaciones de la interfaz radio corresponden al enlace de servicio pero no al enlace de alimentación. El enlace de servicio esta formado por un enlace directo entre el satélite y el terminal móvil y un enlace de retorno en la dirección opuesta.

En la capa física el flujo de información hacia y desde el terminal de usuario se transporta por medio de canales lógicos. Estos canales lógicos hacen uso de canales físicos como portadores. SW/CTDMA adopta la misma estructura de canales físicos que la interfaz radio terrestre. La correspondencia entre canales físicos y lógicos se muestra en la siguiente tabla.

Canales lógicos	Canales físicos	Dirección
BCH	CCPCH Primario	directa
FACH	CCPCH Secundario	directa
Piloto	PI-CCPCH	directa
PCH	HP-CCPCH	directa
RACH RTCH	RAPCH	inversa
DCCH	DDPCH	bidireccional

DTCH	DDPCH	bidireccional
Símbolos piloto y de señalización de capa 1	DCPCH	bidireccional

TABLA V.3. *Canales lógicos y físicos.*

Se prevén dos canales físicos de difusión en el enlace directo: los canales físicos comunes de control primario y secundario P/S-CCPCH. El canal primario da soporte al canal de control de difusión, BCH, que se usa para difundir información específica del sistema y del haz. El canal secundario da soporte al canal lógico de acceso directo, FACH que transporta información hacia un terminal de usuario cuando se ha identificado y se conoce su posición.

El canal físico de acceso aleatorio, RAPCH soporta el canal de acceso aleatorio, RACH que lleva información de control y el canal aleatorio de tráfico, RTCH que transporta paquetes cortos de usuario.

El canal físico dedicado de control, DCPCH se usa para señalización de capa 1. El canal físico dedicado de datos, DDPCH se usa para transportar información de control, tal como señalización de capas superiores, por medio del canal dedicado de control, DDCH y datos de usuario bidireccionales por medio del canal dedicado de tráfico, DTCH.

Los servicios portadores anteriores se pueden usar para proporcionar servicios de conmutación de circuitos y de conmutación de paquetes. Se puede dar soporte a varios servicios de usuario sobre la misma conexión usando una estructura de multiplexación temporal.

Se ha introducido un canal específico de control, HP-CCPCH, que da soporte en el enlace directo a un canal de búsqueda de alta penetración, este canal proporciona un servicio de datos de baja velocidad cuyo objetivo es proporcionar mensajes de búsqueda o de alerta a terminales de usuario en el interior de edificios.

### *Constelación y satélites*

El uso de SW/CTDMA no está orientado a ninguna constelación en particular, se ha diseñado para que pueda soportarse por constelaciones LEO, MEO, GEO o HEO. Y aunque la cobertura por medio de haces múltiples mejora las prestaciones del sistema tampoco esto es un requisito del sistema.

Dependiendo del tipo de terminal del usuario SW/CTDMA proporciona servicios portadores desde 1.2 hasta 144Kbits/s con tasas de error asociadas máximas entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ . El retardo máximo tolerado es de 400ms lo cual es compatible con cualquiera de las constelaciones mencionadas anteriormente.

## Descripción del sistema

### *Características del servicio*

SW/CTDMA proporciona servicios portadores desde 1.2Kbit/s hasta 144Kbit/s con tasas de error asociadas máximas entre  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ , dependiendo del tipo de terminal del usuario.

El retardo máximo tolerado es de 400ms lo cual es compatible con cualquiera de las constelaciones con las que se puede utilizar SW/CTDMA.

### *Características del sistema*

Tanto en el enlace directo como en el inverso se soportan dos tasas de dispersión: 3840Mchips/s y tasa mitad de 1920Mchips/s.

Se implementa control de potencia en lazo cerrado para ambos enlaces, el lazo cerrado tiende a que el valor de SNIR medido después del combinador RAKE tenga un valor objetivo. El valor objetivo se modifica de forma adaptativa por medio de un lazo de control externo más lento que se basa en medidas de la FER. Para dar soporte a la medida de la FER se añaden 8 bits de código de redundancia cíclico a los datos de cada trama.

Se proporcionan tres tipos de servicio que permiten cumplir con los requisitos de QoS de los servicios por satélite seleccionados y permite la mejora del QoS en caso necesario mediante la selección de un servicio de codificación específica. Las categorías que se proporcionan son:

- Servicio estándar con una BER  $10^{-3}$ .
- Servicios de alta calidad con una BER de  $10^{-6}$ .
- Servicios con codificación específica, en este servicio no se aplica ninguna codificación por corrección adelantada de errores (FEC, Forward Error Code) en la interfaz radio. La posible codificación se realiza en capas superiores.

### *Diversidad de satélites*

En un escenario de cobertura de múltiples satélites, las LES pueden decidir combinar las señales de enlace de retorno de los satélites de la misma cobertura con la señal recibida a través del satélite primario para mejorar la SNIR. Esto da como resultado una ganancia que puede usarse para incrementar la eficiencia de potencia y capacidad del enlace de retorno.

Se supone que la referencia de tiempo y frecuencia se localiza de forma virtual en el satélite. Esto significa que las señales emitidas por el satélite corresponden a la frecuencia y tiempos nominales. En caso de un transpondedor transparente la LES desplaza el tiempo de transmisión, la frecuencia, la tasa de chip, etc. de su enlace de alimentación ascendente de forma que las señales lleguen al satélite deseado en sincronismo

con el tiempo y la frecuencia nominales del sistema. Para el enlace de retorno se supone que la LES controla la temporización de los terminales de usuario de forma que la señal de retorno llega al satélite deseado casi en sincronismo con el tiempo y frecuencia nominal del sistema.

### *Operación en modo F/TDD*

El esquema SW/CTDMA propuesto da soporte a terminales operando en modo de duplexión de frecuencia y en tiempo. No se considera un modo TDD puro, que usa la misma frecuencia de portadora en ambas direcciones de transmisión, como el que propone el ETSI para el componente terrestre.

Un terminal de usuario operando en división de frecuencia/tiempo transmite y recibe señales en periodos de tiempo separados y en frecuencias portadoras separadas, pero nunca al mismo tiempo. Por ello sólo se requiere de duplexores simples en el puerto de antena.

En contraste con las redes terrestres, para los satélites en órbita no geoestacionaria, el tiempo de propagación puede variar significativamente dentro de la zona de cobertura de un haz en una conexión. La LES controla la temporización del enlace de retorno, de forma que el tiempo de trama al llegar al satélite se mantiene dentro de un desplazamiento temporal específico del haz.

Mientras que la temporización del enlace de retorno se mantiene fija en el satélite (y en consecuencia en las LES) la temporización de las tramas del enlace de retorno cambia para un observador en el terminal cuando cambia la longitud del trayecto. Durante el tiempo que un terminal de usuario permanece en la zona de cobertura del mismo haz, el desplazamiento temporal de trama puede variar hasta 12ms dependiendo del sistema de satélites.

## **SAT-CDMA**

La Asociación de la Tecnología de Telecomunicación (TTA, Telecommunications Technology Association), de Korea define la interfaz radio SAT-CDMA como una interfaz satélite de IMT-2000, que proporciona servicios avanzados de comunicaciones móviles con una tasa binaria máxima de 144kbit/s. Este sistema incluye una constelación formada por 48 satélites en órbita baja para proporcionar cobertura global. Utiliza un esquema de acceso CDMA de banda ancha, W-CDMA, con una tasa de chip de 3.84 Mchip/s. Este sistema tiene el objetivo de tener el mayor número de aspectos comunes con el componente terrestre de IMT- 2000.

### **Arquitectura**

#### *Constelación y satélites*

La constelación de satélites SAT-CDMA está formada por 48 satélites en órbitas (LEO) de 1600Km de altura, diseñada para obtener un ángulo de elevación grande, servicios

de alta velocidad, baja potencia de los terminales de usuario y de los satélites y baja dosis de radiación de éstos.

Los satélites se organizan en 8 planos orbitales con una inclinación de 54 grados. Cada plano orbital tiene 6 satélites equiespaciados con un periodo orbital de 118.2 minutos: Esta configuración permite la cobertura de áreas de servicio entre 69 grados de latitud norte y sur con un ángulo de elevación mínimo de 15 grados en los enlaces de servicio, y de 10 grados en los enlaces de alimentación. Se proporcionan también enlaces entre los satélites. Los parámetros de la constelación se resumen en la siguiente tabla.

Órbita	LEO
Altura de la órbita (Km)	16000
Inclinación de la órbita (grados)	54
Número de planos orbitales	8
Número de satélites por plano	6
Desfase entre satélites de planos adyacentes (grados)	7.5
Periodo orbital (minutos)	118.2

TABLA V.4. *Parámetros de la Constelación.*

En las zonas de población más densa, entre 30 y 60 grados de latitud, el ángulo de elevación mínimo es de 20 grados y su valor medio es de 40 grados como se muestra en la figura V.3.

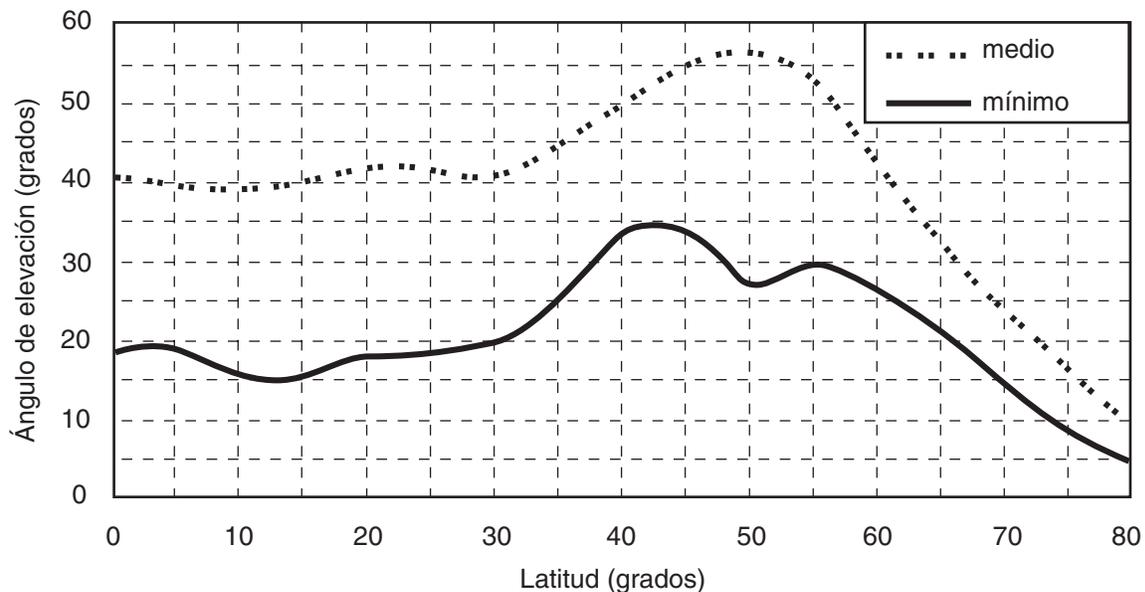


FIGURA V.3. *Distribución del ángulo de elevación mínimo y medio en función de la latitud.*

En la figura V.4 se muestra el porcentaje de tiempo de visión del satélite en función de la latitud, tomando el número de satélites visibles (de 1 a 4) como parámetro. En las áreas entre 30 y 50 grados de latitud se ven simultáneamente al menos dos satélites durante el 98 % del tiempo.

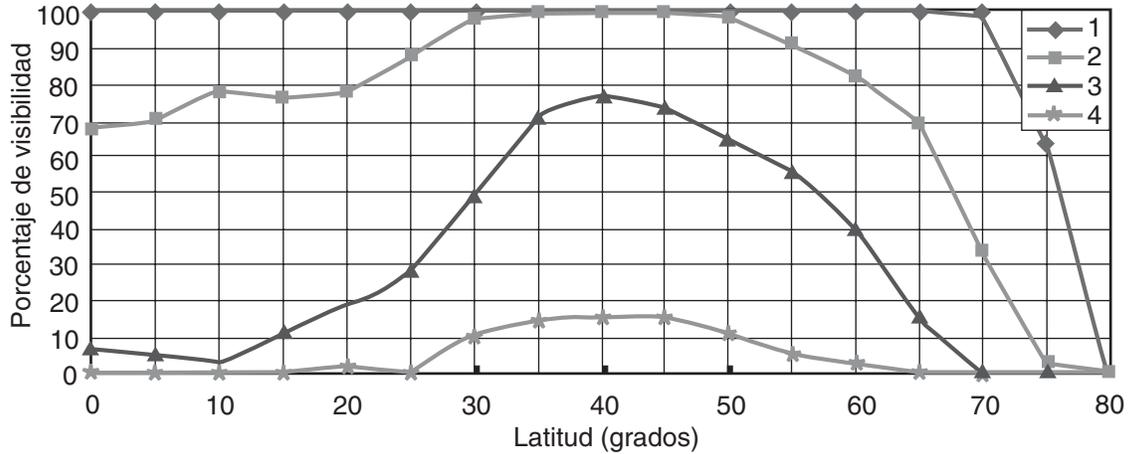


FIGURA V.4. Porcentaje de tiempo de satélites visibles con ángulo de elevación superior a 15°.

Cada satélite proporciona cobertura a los terminales de usuario mediante un conjunto de 37 haces con solapamiento, esto se muestra en la figura V.5. Cada satélite proporciona un tiempo de cobertura máximo de 16 minutos.

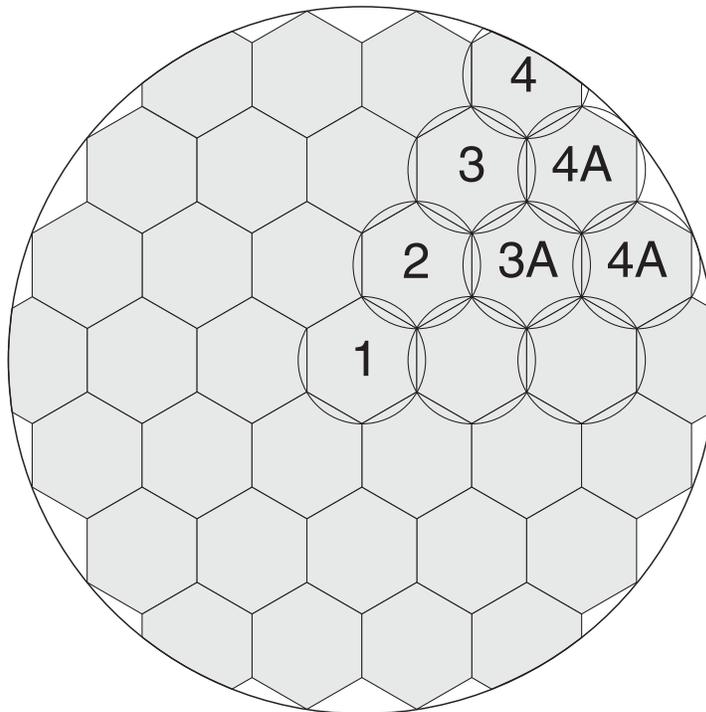


FIGURA V.5. Diagrama de haces de un satélite.

## Descripción del sistema

### *Características de los servicios*

Servicios portadores básicos: los servicios portadores básicos, proporcionados por SAT-CDMA, incluyen comunicaciones de voz y datos con tasas desde 2.4kbit/s a 64kbit/s.

Servicios de paquetes de datos: se proporcionarán servicios de paquetes con tasas binarias entre 2.4kbit/s y 144kbit/s.

Teleservicios: los teleservicios incluyen transmisión de voz para llamadas de emergencia, servicio de mensajes cortos, transmisión de fax, videotelefonía servicio de búsqueda, etc.

Servicio de búsqueda de alta penetración: se proporcionará servicio de búsqueda para contactar con terminales de usuario ubicados en el interior de edificios donde no se puede proporcionar servicios normales.

### *Características del Sistema*

El sistema SAT-CDMA está formado por tres elementos: el segmento espacial, el segmento terreno y el segmento de usuario.

El segmento espacial incluye la constelación de satélites ya descrita. Los satélites tienen transpondedores con procesado a bordo y proporcionan enlaces de servicio en banda S, enlaces de alimentación en banda C y enlaces entre satélites a 60GHz.

El segmento terreno está formado por las estaciones terrenas LES, los centros de control de satélites (SCC, Satellite Control Centre) y el centro de control de tierra (GCC, Geo Control Centre)

### *Traspasos*

El sistema SAT-CDMA proporcionará traspaso de la comunicación entre canales radio de satélite mediante la estrategia de traspaso decidido por la red y ayudado por el móvil.

Traspaso entre haces: éste es necesario cuando el terminal de usuario se mueve de la cobertura de un haz a otro debido al movimiento del satélite y/o del terminal. El terminal de usuario mide los niveles de señal de los haces adyacentes e informa a la red de los pilotos que cruzan o están por encima de unos determinados umbrales. En base a esa información, y a la posición del satélite, la red puede decidir transmitir la misma información a través de dos haces diferentes y ordena al terminal de usuario que demodule las señales adicionales. El terminal realiza una combinación de relación máxima (MRC, Maximal Ratio Combining) de las señales de diversidad. Tan pronto como la red recibe confirmación del terminal de usuario de que recibe la nueva señal libera el canal anterior.

Traspaso entre satélites: el traspaso entre satélites es necesario cuando el terminal de usuario y la LES están en la zona de cobertura de solape entre dos o más satélites y la comunicación se debe transferir de un satélite a otro para mantener la continuidad de

la conexión y proporcionar diversidad de trayecto. El terminal de usuario recibe los pilotos de los satélites adyacentes e informa de los niveles a la red. En base a esta información y al conocimiento de las posiciones de los satélites, la red puede decidir transmitir la misma información a través de dos o más satélites y ordena al terminal de usuario que demodule las señales adicionales. Se proporciona así diversidad. Cuando se pierde la visibilidad del primer satélite se libera el primer canal y se finaliza el traspaso.

Traspaso entre LES: en el caso en que se requiera un traspaso entre satélites, pero el nuevo satélite no esté en contacto con la misma LES que el satélite anterior, se requiere además un traspaso simultáneo entre una LES y la otra. El traspaso entre LES debe negociarse entre estas. La nueva LES comienza a transmitir su portadora hacia el terminal de usuario que a su vez es comandado por la LES inicial para que busque la señal de la nueva LES. Cuando la LES inicial obtiene confirmación del terminal de usuario de que recibe la nueva señal deja de transmitir hacia éste.

### *Diversidad de Satélite*

En situaciones normales el terminal de usuario tiene una visión sin obstrucciones del satélite. Hay también una señal multitrayecto por reflexiones en el suelo y en los objetos próximos, que hacen que la señal resultante tenga una variación de tipo Rice. Este multitrayecto es difuso y no puede compensarse con los receptores RAKE. Afortunadamente su energía es muy pequeña y su efecto imperceptible.

En las zonas cubiertas por haces de dos satélites se puede asignar un receptor del terminal de usuario a cada satélite y se combinan las señales recibidas con la técnica de máxima relación.

Esta diversidad de satélite reduce la probabilidad de desvanecimiento al incrementar la probabilidad de tener al menos un satélite con visión directa. Además introduce de forma artificial multitrayecto que permite usar receptores RAKE. La ventaja de la diversidad es que aumenta la potencia media recibida y que además disminuye las oscilaciones entorno al valor medio recibido.

## **Especificaciones RF**

A continuación se dan valores de los parámetros más importantes de los terminales.

- En el terminal de usuario podemos distinguir los siguientes casos: El terminal de usuario de mano proporciona servicios personales de comunicación de voz y datos de baja velocidad a los usuarios. La antena tiene un diagrama casi omnidireccional en una semiesfera. El requisito de máximo PIRE viene determinado por las especificaciones de seguridad del usuario. La relación G/T es determinada por la antena. La máxima tasa binaria del terminal de mano está especificada en 16kbit/s.
- En los terminales de vehículos las antenas se montan en el exterior y los terminales se alimentan desde el mismo. El régimen binario máximo que puede soportar un terminal de vehículo está especificado en 32kbit/s. También puede operar como un

terminal fijo con el vehículo parado. En este caso el régimen binario máximo es de 64 kbit/s.

- Los terminales fijos operan desde una ubicación fija y reciben energía de una fuente externa. Pueden usarse para proporcionar servicios de conexión a PBX. También pueden operar conectados a PC portátiles.

## ICO

Esta propuesta ha sido optimizada para su operación por un sistema de satélites específico. Este sistema está formado por una constelación de satélites en órbita intermedia MEO y 12 estaciones terrenas alrededor del mundo e interconectadas por una red terrestre. La constelación se ha diseñado para proporcionar cobertura completa de la tierra en todo momento. El sistema enrutará el tráfico desde las redes terrestres a una LES que seleccionará el satélite con el que se enlazará al terminal de usuario. El tráfico de un terminal de usuario se enrutará a través de la constelación de satélites con la red fija o móvil de destino. El sistema proporcionará servicios de voz y datos hasta 38.4kbit/s de forma eficiente en potencia y uso de espectro. La gran mayoría de los terminales de usuario serán de mano y con operación dual (terrestre y satélite). También podrán usarse otros tipos de terminales como los instalados en vehículos marítimos, aeronáuticos y semifijos.

### Arquitectura

#### *Constelación y satélites*

El segmento terreno usa componentes estándar de comunicaciones terrestres. La arquitectura que se muestra en la figura V.6 comprende:

- 12 LES interconectadas y distribuidas en todo el mundo.
- Centros de gestión de red duplicados.
- Centros duplicados de administración y facturación.

Cada LES tiene:

- Cinco antenas y los equipos asociados para comunicación con los satélites.
- Centros de conmutación de móviles y registros incluyendo las bases de datos de abonados locales (HLR, Home Location Register) y visitantes (VLR, Visitor Location Register).
- Interconexiones con redes terrestres.

Las LES se interconectan entre si mediante enlaces terrestres. Se proporcionan interfaces con las redes públicas conmutadas (PSTN, Public Switched Telephone Network), móviles terrestres (PLMN, Public Land Mobile Network) y de datos. Sin

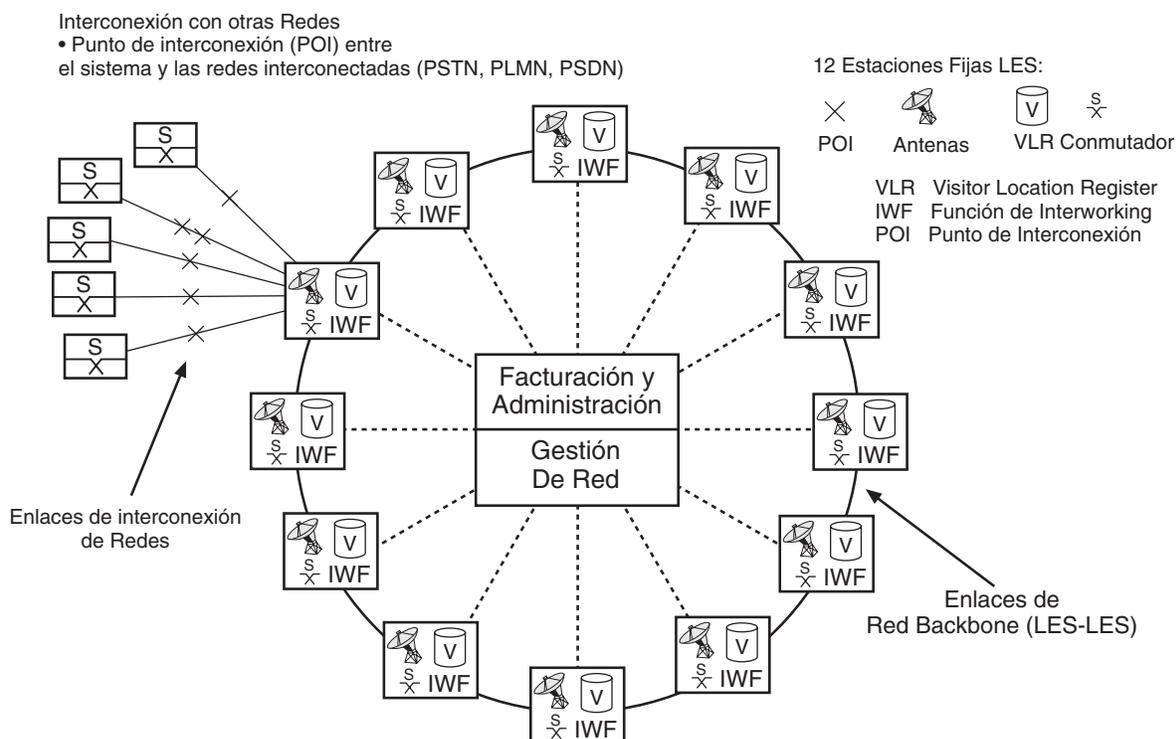


FIGURA V.6. La red terrestre.

embargo sólo se da soporte al traspaso con una sola red. Las funciones de interfuncionamiento (IWF, Inter. Working Function) proporcionan itinerancia automática con otras redes móviles terrestres de segunda y tercera generación.

En Tabla V.5 se resume la configuración de la constelación de satélites.

Órbita	MEO
Altura de la órbita	10390Km
Inclinación	45°
Número de planos orbitales	2
Fase entre planos	180°
Satélites por plano	5-6

TABLA V.5. Configuración de la constelación de satélites.

La cobertura global es un aspecto clave de IMT-2000 y la constelación descrita proporciona esta cobertura global a la vez que mantiene un ángulo de elevación mínimo grande hacia los satélites visibles.

La Figura V.7 muestra el porcentaje de tiempo para el que un número de satélites son visibles en función de la latitud. En todas las zonas de la tierra habrá dos o más satélites visibles durante al menos el 90 % del tiempo.

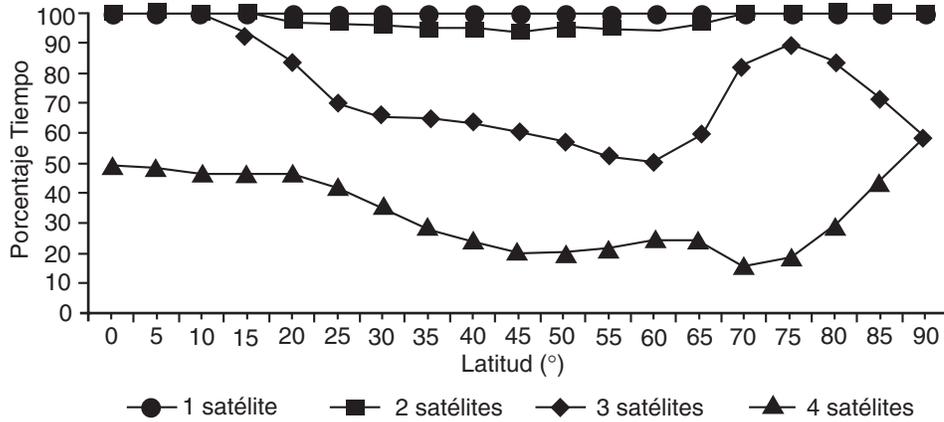


FIGURA V.7. Estadística de visibilidad típica para la constelación de 10 satélites.

El sistema es muy robusto frente a fallas de un satélite, o de una LES, ya que se puede mantener cobertura global mientras haya al menos 4 satélites en cada plano orbital, la falla de una LES normalmente no resulta en pérdida de servicio de las zonas entorno a la misma.

La Figura V.8 muestra los ángulos de elevación mínimo y promedio del satélite más próximo que proporciona el ángulo de elevación mayor entre los visibles en función de la latitud.

El valor mínimo y el promedio del ángulo de elevación exceden 20° y 40° respectivamente en la mayor parte de las zonas. Para regiones entre 20° y 50° de latitud la constelación proporciona un ángulo de elevación mínimo superior a 25° y un valor medio de más de 50°.

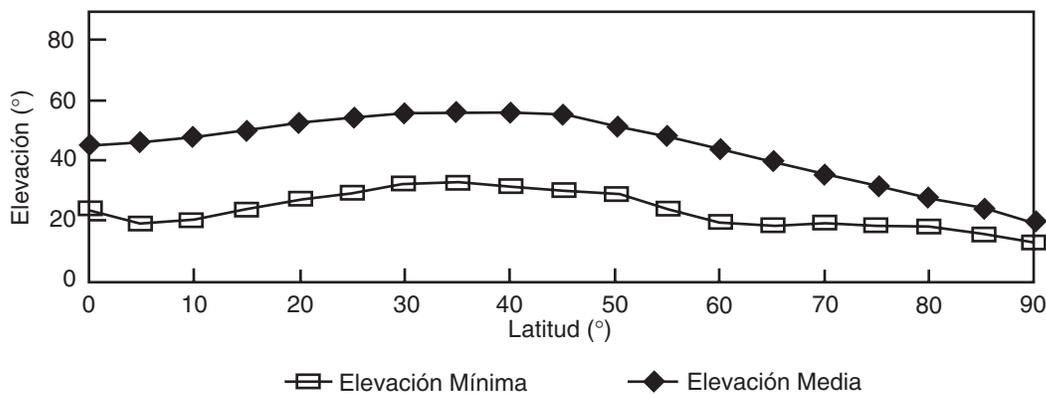


FIGURA V.8. Ángulo de elevación típico y mínimo hacia el satélite más próximo.

Se han introducido características especiales a los satélites para poder cumplir los requisitos propios de los sistemas MEO, incluyendo:

- 163 haces, que proporcionan una cobertura de toda la zona de visión del enlace de servicio a los terminales móviles, implementados con *arrays* de antenas de radiación directa (DRA, Direct Radiation Array) de transmisión y recepción con 127 elementos.
- La formación de haces y la canalización de los traspondedores implementada con tecnología digital, que permite conmutar 490 filtros de canal entre los 163 haces generados. Esto permite a los satélites responder a los cambios de los requerimientos de tráfico e interferencia en la órbita.
- Autocalibración a bordo que monitoriza y, si se requiere, corrige las prestaciones en órbita de la antena del enlace de servicio. Esto mantiene las prestaciones de ganancia y reutilización de frecuencias de la antena a lo largo de la vida del satélite.

El procesador digital a bordo es transparente, y canaliza y encamina las señales a los 163 haces sin demodular ni regenerar las señales. En el procesador se crean 490 canales con filtros de 170 KHz, y cada canal se puede encaminar a cualquiera de los 163 haces a cualquier frecuencia en canales espaciados 150 kHz en el ancho de banda de 30 MHz del enlace de servicio. Cada uno de los 490 canales puede considerarse equivalente a un transpondedor convencional.

El encaminamiento de cada canal a cada haz se puede cambiar continuamente a lo largo de la órbita, para permitir a los satélites responder a las demandas de tráfico y a las interferencias de manera predecible y preplanificada.

Además el procesador digital forma todos los 163 haces del enlace de servicio generando los coeficientes de amplitud y fase de los 127 elementos del *array* para cada haz. La integridad de los coeficientes de excitación se puede verificar, usando el sistema de autocalibración a bordo del satélite, en el que un alimentador externo en un brazo de soporte sondea el coeficiente de excitación de cada elemento. Esto permite mantener las prestaciones de lóbulo principal y lóbulos secundarios a lo largo de la vida del satélite, asegurando que se pueda mantener la reutilización de frecuencia entre haces.

La función del plan de frecuencias es maximizar el uso del espectro del enlace móvil y asegurar que no se produce exceso de interferencia intrasistema. El plan de frecuencias para toda la constelación se realiza de forma centralizada en el Centro de Gestión de Red.

El plan de frecuencias define el espectro asignado a cada haz de la constelación en función del tiempo de forma que una frecuencia dada no esté disponible simultáneamente para dos haces con insuficiente aislamiento. El plan de frecuencias se adapta a la variación de tráfico y a la evolución de la constelación y está orientado, en su asignación, a los satélites de manera que se mantienen bastante constantes las frecuencias usadas en cada haz cuando el satélite se desplaza en su órbita mientras que los terminales tienen que cambiar de frecuencia en los trasposos de haz.

## Descripción del Sistema

### *Características de Servicio*

El sistema da soporte a comunicaciones universales personales (UPT, Universal Personal Telecommunications) por medio de portabilidad de servicio que facilita el acceso a los servicios esperados en la red local desde la red visitada, y la transparencia de servicio por la que el usuario percibe las mismas características en la provisión del servicio.

El sistema puede proveer teleservicios, servicios portadores, servicios alternativos, servicios suplementarios y servicios de mensajes.

- Teleservicios: incluyen telefonía, llamadas de emergencia, fax de Grup03 (con tasas hasta 14.4 kbit/s).
- Servicios Portadores: se pueden usar varias velocidades binarias dependiendo del tipo de aplicación. La velocidad en el canal se puede variar según los recursos del sistema y los requerimientos del usuario. Puede usarse transmisión asimétrica para los servicios de datos mediante asignación asimétrica de los intervalos TDMA en ambos enlaces. Se proporcionan tasas de datos medias (hasta 38.4 kbit/s agregando intervalos temporales) incluyendo las siguientes tasas (nótese que se usan varios intervalos temporales y/o varios canales de RF para obtener tasas mayores que las que proporciona un único intervalo temporal (2.4 kbit/s antes de codificar).
- Servicios suplementarios: Incluyendo servicios de identificación de línea, servicios de reencaminamiento, llamada en espera conferencia múltiple, servicios de restricción de llamadas, de tarificación y servicios de localización.
- Servicios de mensajes: incluyen mensajes de voz, mensajes de fax y servicios móviles de mensajes cortos (SMS, Short Messages Service).

### *Características de Sistema*

Traspaso: se proporciona traspaso dentro del mismo sistema entre haces del mismo satélite, entre haces de diferentes satélites y entre estaciones terrenas. Los terminales de usuario pueden necesitar cambiar de frecuencia en el traspaso. Se utiliza traspaso asistido por los UT usando las medidas realizadas por estos. Se proporciona traspaso duro y blando. Se prefiere traspaso blando, que implica la no interrupción durante el traspaso, cuando la decisión de traspaso la adopta el UT. Cuando no es posible usar traspaso blando se utiliza un procedimiento que realiza el traspaso antes de interrumpir la conexión inicial.

Compensación Doppler: el conocimiento del movimiento de los satélites y de la ubicación del UT proporciona información que permite la compensación del Doppler. La precompensación limita el cambio Doppler a menos de 1.1 kHz en el enlace directo y a 40 Hz en el enlace de retorno.

Asignación de canal: la canalización digital a bordo permite conmutar los 490 filtros de canal entre los 163 haces generados. Se emplea asignación predictiva de canal para

permitir a los satélites responder a los cambios de los requerimientos de tráfico e interferencia cuando se desplazan por su órbita. Permite también hacer un uso flexible del espectro disponible.

**Diversidad:** se proporciona diversidad temporal, espacial y de frecuencia.

Se proporciona diversidad espacial para tráfico y señalización, permitiendo al terminal de usuario comunicarse con la red a través de cualquiera de los satélites visibles (diversidad de trayecto satélite). Durante la mayor parte del tiempo la constelación proporciona cobertura mediante dos o más satélites. El sistema se ha diseñado para incrementar la probabilidad de visión directa a un satélite y explotar la capacidad de diversidad de trayecto satélite en todos los servicios.

### **Especificaciones de RF**

**Control de potencia:** un terminal de usuario debe de controlar su potencia de transmisión dependiendo de los requerimientos de la red, y esta debe de controlar la potencia de cada canal de las estaciones fijas. El objetivo de control de potencia es usar la mínima potencia en la estación fija, en el terminal de usuario y en el satélite que permita tener una calidad de señal aceptable. El uso de control de potencia permite incrementar la capacidad del sistema, la duración de carga de la batería del terminal de usuario y reducir la interferencia.

**Ancho de banda de canal y tasa binaria:** El ancho de canal es de 25 KHz. El régimen binario de símbolo y de bit depende del tipo de canal y la modulación asociada al mismo.

### **INMARSAT (HORIZONS)**

Esta interfaz radio se ha optimizado para ser usada por una constelación de satélites geoestacionarios que proporcionen cobertura mundial a terminales multimedia en línea con los objetivos de IMT-2000. El tipo de terminal previsto es un ordenador portátil o de mano, conectado a una unidad de comunicaciones portátil que incorpore una antena directiva.

Con estos terminales, esta interfaz radio puede alcanzar tasas de transferencia de información de 144 kbit/s. También puede usarse en otros terminales, desde estacionarios (incluyendo acceso fijo vía radio FWA) hasta aeronáuticos.

El objetivo principal es tráfico de datos, en particular para tener una conexión a Internet, en soporte aplicaciones típicas de estas redes tales como correo electrónico y navegación. También se soportan servicios tradicionales de telecomunicaciones tales como voz y fax. Aunque el régimen binario por portadora es de 144 kbit/s, son posibles regímenes mayores para terminales semifijos mediante la agregación de portadoras. Los satélites a usar con esta interfaz deben usar tecnología geoestacionaria, en la que cada satélite despliega un gran número de haces estrechos que juntos cubren áreas continentales y alcanzan factores de reutilización de frecuencias análogos a los de los sistemas celulares terrestres.

Un objetivo básico en el diseño de la interfaz radio ha sido hacerla independiente de los servicios y del tipo de tráfico que transporta. Esto se ha visto como una característica esencial para un sistema multimedia. A nivel MAC se parece a ATM por ejemplo en el uso de intervalos temporales TDMA con 48bytes de datos de usuario permitiéndole llevar cualquier tipo de tráfico que pueda transmitirse sobre ATM. Debido a esto la interfaz no está ligada a ningún protocolo o algoritmo especiales. Por ejemplo, no es dependiente de ninguna técnica especial de compresión de voz cuando transporta tráfico de voz.

### Arquitectura

Como se ha mencionado anteriormente esta interfaz se ha optimizado para su implementación en un sistema de satélites geostacionarios. La complejidad del equipo a utilizar a bordo de los satélites está al límite de lo que proporciona la tecnología actual. Permite usar haces múltiples y proporciona la potencia de RF necesaria para permitir el alto régimen binario de información que debe entregarse a los terminales móviles pequeños.

Las características que deben tener idealmente los satélites se muestran en la Tabla V.6.

Número de haces por satélite	Hasta 300, dependiendo de la cobertura deseada
Configuración de los haces	Debe ser flexible y reconfigurable para dar respuesta a las variaciones de demanda de tráfico
Tamaño de los haces	Ancho de haz aproximado de 1° con un diámetro de 800Km en el punto subsatélite
Reuso de frecuencia	Basado en clusters de 7
G/T del enlace de servicio en cada haz	Medio: 12dB/K Mínimo: 10dB/K
PIRE de saturación del enlace de servicio en cada haz	Mínimo: 38dBW Máximo: 53dBW
PIRE de saturación total del enlace de servicio por satélite	66dBW
Estabilidad de frecuencia	$\pm 1$ ppm
Control de potencia	Permite reducir en 3dB la potencia del satélite y doblar la capacidad de tráfico
Salto del control de potencia	0.5dB
Ciclos del control de potencia por segundo	1
Rango dinámico del control de potencia	8dB

TABLA V.6. Características de los satélites.

## Descripción del Sistema

Esta interfaz radio es independiente de los protocolos de aplicación y puede proporcionar servicios multimedia con el único límite del régimen binario de transmisión y del retardo del salto satélite. Es capaz de proporcionar simultáneamente varios servicios, por ejemplo voz y datos, con una asignación adecuada de canales. La capacidad de tasa de bit variable es una característica importante de la interfaz. Durante la comunicación se pueden asignar portadoras extra incluyendo la posibilidad de hacer traspaso para alcanzar la capacidad necesaria. El traspaso produce la pérdida de algunos intervalos temporales pero se incluye un protocolo de nivel superior que hace este efecto sea transparente para las aplicaciones multimedia.

La tasa binaria de usuario por portadora es de 144kbit/s pero se permite el uso de servicios con tasas mayores usando antenas de alta ganancia como las que se pueden desplegar en terminales sobre vehículos, transportables o fijos. Una instalación fija puede acceder directamente al sistema y obtener servicios de la red digital de servicios integrados (ISDN, Integrated Services Digital Network).

Las redes móviles de segunda generación tienen una estrecha asociación entre el transporte radio y las características de la aplicación principal, por ejemplo tráfico de voz. Para una red multimedia este acoplo no es deseable. La interfaz radio debe diseñarse para que sea lo más general posible y que soporte diversidad de tráfico incluyendo incluso los que aún ahora no se preveen. Este es el principio en que se basa el diseño de una red ATM.

Esta interfaz radio cumple este objetivo. No realiza ninguna suposición acerca de los protocolos o servicios que vayan a usarse. La compatibilidad con ATM terrestre (por ejemplo el uso de campos de usuario de 48bytes) asegura que cualquier tráfico que pueda transportarse por una red de modo de transferencia asíncrono ATM, también se podrá transportar por la interfaz (siempre que el ancho de banda sea adecuado).

Una de las características principales del tráfico Internet, comparado con las comunicaciones tradicionales es su naturaleza de ráfagas: Un usuario típicamente demandará información en ráfagas relativamente concentradas, por ejemplo cuando cargue una página web o un formulario y requerirá poco ancho de banda el resto del tiempo. Esta característica es bien conocida en las redes actuales y permite la multiplexación estadística de al menos cinco veces el número de usuarios que aparentemente permite el ancho de banda disponible. Las redes tradicionales con su énfasis en ancho de banda constante durante la duración de la llamada, están mal equipadas para manejar este tipo de tráfico. Otra característica de este tráfico es su asimetría. Típicamente la cantidad de tráfico en una dirección (normalmente hacia el usuario) es superior al de la otra dirección en un orden de magnitud. Esta interfaz radio se ha diseñado teniendo el tráfico de Internet como objetivo principal.

Su servicio de ancho de banda variable proporciona respuesta instantánea al cambio de tráfico especialmente hacia el usuario. No hay renegociación ni ningún otro retardo

entre la llegada de tráfico y la asignación del ancho de banda necesario si está disponible. Cuando hay contienda por el ancho de banda (es decir no hay suficiente para satisfacer la demanda instantánea) automáticamente se comparte la disponible de forma equitativa. Aunque no se incluye en la propuesta, se prevé también el uso de esquemas más elaborados en los que por ejemplo, algunas llamadas puedan recibir mayor ancho de banda en base a una calidad de servicio requerida. La asignación dinámica de ancho de banda permite de forma natural el tráfico asimétrico.

En sentido ascendente una mezcla de usuarios con tráfico Internet y usuarios tráfico continuo (por ejemplo datos de telemetría) permitirá optimizar de forma cuasiautomática el uso del ancho de banda.

Otra característica del uso de Internet (incluyendo el uso de intranets) es que los usuarios esperan tener una conexión sin que se necesite una intervención por su parte, por ejemplo para establecer o liberar una llamada diferente para cada tipo de actividad. Por tanto es deseable para una tecnología de acceso proporcionar un modo de conexión continua a bajo precio, con la asignación de ancho de banda sólo cuando se requiere en respuesta al tráfico cursado.

Esta tecnología de acceso radio proporciona esta opción que corresponde con tasa binaria no confirmada (UBR, Unconfirmed Bit Rate) en redes ATM. Cuando el usuario no está activo no usa recursos radio. Cuando pasa a estar activo se le asignan recursos radio a lo largo de la llamada. El tráfico multimedia requiere frecuentemente llamadas múltiples, al mismo o a diferentes destinos, y con diferentes requerimientos de calidad.

Esta interfaz radio soporta cualquier mezcla de llamadas cada una con su propio destino y calidad de servicio con el límite de la capacidad máxima del canal (144 kbit/s). La interfaz radio multiplexa de forma automática las llamadas a los diferentes destinos en un canal, pero puede dedicar un canal completo a un solo destino si se necesita. La capacidad de traspaso se usa no sólo para dar soporte a la movilidad geográfica sino también para optimizar el uso del canal. Un terminal puede comenzar su actividad con una sola llamada de banda estrecha (por ejemplo para voz) y posteriormente añadir más llamadas hasta que la capacidad compartida del canal resulta inadecuada. En este momento se invoca al mecanismo de traspaso para desplazar el terminal (o incluso otro terminal que comparte el canal) a otro canal que tenga la capacidad requerida. De forma similar, cuando se terminan las llamadas, el uso eficiente del ancho de banda puede requerir que terminales que operan en diferentes canales se compacten usando un sólo canal liberando recursos para otros usos.

Mientras que los servicios de telecomunicaciones tradicionales se orientan hacia tráfico punto a punto con el acomodo de tráfico entre varios usuarios por medio de dispositivos externos, el tráfico multimedia tiene a menudo requisitos *multicast*. Un ejemplo obvio es la videoconferencia y el *videocasting*. Pero Internet usa cada vez más *multicast* para proporcionar información actualizada.

El tráfico comercial tiene también a menudo requerimientos *multicast*, como por

ejemplo la distribución periódica masiva de datos tales como listas de precios o catálogos a varios sitios.

La interfaz radio proporciona servicios *multicast*. Los terminales individuales se pueden subscribir a alimentadores *multicast* usando un protocolo normal de señalización ya que estos alimentadores se identifican mediante una dirección como el resto de destinatarios. Los alimentadores pueden estar abiertos a todos (como es el caso típico de fuentes Internet) o restringidos a un grupo cerrado, lo que es más común en alimentadores privados como los de datos de empresa.

Cada vez más es un requisito legal para los sistemas móviles el que sean capaces de proporcionar a los servicios de seguridad y emergencia la posición física de un terminal. Proporcionar esta capacidad será por tanto un requisito para poder obtener licencia de operación en muchos países.

Un sistema que use esta interfaz radio debe usar un receptor GPS independiente para obtener una información precisa de la posición. El protocolo de señalización incluye el procedimiento para transmitir esta información a la estación base. Si el terminal se usara en un entorno terrestre entonces el receptor GPS podría reemplazarse por otros procedimientos de radiolocalización.

La calidad de transmisión es uno de los puntos fuertes de interfaz radio ya que proporciona una BER mejor de  $10^{-6}$  bajo todas las condiciones operativas con un promedio próximo a  $10^{-7}$ . Este valor es adecuado para todas las aplicaciones multimedia y no requiere mejoras en la interfaz radio. Las aplicaciones que requieren una integridad mayor utilizan invariablemente sus propios protocolos de protección en capas superiores.

Además, la interfaz radio incluye en el salto satélite un protocolo de protección para reducir la BER efectiva en este enlace. Esto es importante, pero no imprescindible, para Internet y protocolos similares debido al impacto de las retransmisiones en el retardo y en el *throughput*. Con este protocolo se reduce la BER a niveles despreciables (menores a  $10^{-13}$ ) con un impacto muy pequeño en el retardo.

Para aplicaciones en tiempo real, la voz en particular, la BER es menor que  $10^{-6}$  que es mucho mejor que los requisitos de IMT-2000.

No se dan métricas de calidad de servicio ya que la interfaz radio no impone restricciones a los protocolos de servicio usados.

El traspaso se consigue con la pérdida únicamente de una trama, lo que en muchos casos significa la pérdida de una sola célula. Para voz y otros servicios en tiempo real su efecto no será perceptible. Para servicios que no sean en tiempo real esta pérdida se recuperará y por tanto será transparente para la aplicación. Aparecerá de la misma forma que un error en transmisión, que estadísticamente será más frecuente.

Las variaciones de calidad de señal se manejan mediante una gestión activa de potencia en lugar de reducir la calidad de servicio percibida por el usuario. Esto es más adecuado en un entorno multimedia en el que las aplicaciones típicamente son más sensibles a los errores de datos o a los efectos de la recuperación de errores que en el caso de los servicios tradicionales tales como la voz.

## Características del Sistema

Las llamadas se dirigen al *gateway* responsable del haz en el que se ubica el terminal.

Esta es una función de encaminamiento sencilla. Los conmutadores PSTN/ISDN se pueden usar para ello siempre que haya soporte de red inteligente para gestionar la movilidad. Por tanto, sólo hacen falta unos pocos *gateways* en un entorno de satélites geoestacionarios: un mínimo de uno por satélite o de tres para un sistema global.

La interfaz radio no impone restricciones a la interfaz de red. No se requieren funcionalidades adicionales para el interfuncionamiento con ISDN o PSTN.

Las características específicas del entorno satélite y de la movilidad, tales como el traspaso y la gestión de la movilidad, no son visibles para la interfaz de red.

No se requieren modificaciones en la red básica terrestre para satisfacer las normas de los servicios portadores ISDN. Todas las características de los servicios ISDN se trasladan al protocolo de señalización de la interfaz radio que ha sido diseñado con este objetivo.

Sólo se requiere traspaso entre canales de un haz o entre haces de un satélite. El traspaso se gestiona completamente por el sistema satélite. Se inicia por el terminal móvil como consecuencia de la información de posición y de las medidas de intensidad de señal, o por la estación de tierra, LES para optimizar el uso de los recursos radio (por ejemplo para concentrar el tráfico en unos pocos canales). Posteriormente es gestionado por la LES. Durante el traspaso se transmite tráfico que puede ser recibido en la LES por ambos canales hasta que se recibe confirmación de que el terminal de usuario ha completado el traspaso y está operando en el nuevo canal (y haz si es entre haces). La recombinación del tráfico se realiza en la LES.

El traspaso produce la pérdida de todos los intervalos temporales de una sola trama. Esto se debe principalmente al tiempo de enganche del oscilador local.

Las frecuencias se pueden asignar dinámicamente a los haces en función de la carga de tráfico.

En el entorno satélite no se producen grandes variaciones en las condiciones de propagación lo que permite hacer los sistemas más eficientes en el uso de la potencia del satélite y del espectro que cuando se producen mayores variaciones.

Esta interfaz radio se ha diseñado para su utilización en situaciones en las que no hay acceso a la red eléctrica. Por tanto optimiza el consumo de potencia permitiendo el mayor ahorro posible tanto en modo operativo como en espera. Tanto la transmisión como la recepción operan de forma intermitente según lo requiera el tráfico. Incluso en llamadas de ancho de banda variable se usa recepción intermitente salvo cuando se recibe una ráfaga de tráfico.

En el modo de espera los terminales normalmente no transmiten y el receptor sólo necesita activarse el 0.5% del tiempo. Los terminales activos reciben sólo durante los intervalos temporales asignados para ancho de banda comprometido (CIR, Carrier Interference Ratio) o cuando usan ancho de banda adicional para servicios de tasa

binaria variable. Por tanto un terminal involucrado en una llamada de voz a 8 kbit/s transmitirá y recibirá sólo durante 1/18 del tiempo.

Estudios de viabilidad han mostrado que es factible un terminal con un peso de 750 gramos (más el peso de la unidad de usuario) con una duración de la batería de más de 24 horas en espera y 2 horas activo (compatible con las restricciones actuales de los ordenadores portátiles).

## **Especificaciones RF**

La interfaz radio no impone restricciones a la banda de frecuencias. En principio puede usarse en cualquier banda de frecuencias aunque las condiciones de propagación y las restricciones de la tecnología de antenas es hace más adecuado para frecuencias entre 1 y 3 GHz.

La interfaz radio se ha diseñado usando técnicas muy probadas y conocidas. Ello incluye el uso de TDMA. Para el régimen binario de información manejado, el uso de técnicas de espectro ensanchado aporta poca mejora en prestaciones y requiere un ancho de banda mucho mayor.

Esta interfaz radio se ha diseñado para duplexión en frecuencia FDD. La separación mínima de frecuencias entre el enlace ascendente y el descendente depende del coste de implementación.

La modulación y codificación en los dos enlaces, directo y de retorno, son iguales. Se usa una modulación 16 QAM con turbocódigos. Para obtener una BER de  $10^{-6}$  se necesita una C/No de 58.9 dBHz.

La separación entre portadoras de RF es de 100 kHz. Cada portadora puede transportar 16 llamadas de voz, o hasta 144 kbit/s de datos con tasa variable, obtenidos de la combinación de llamadas de varios usuarios, o una combinación de ambas.

Aunque es posible usar otros anchos de banda de filtrado se recomienda usar filtros de canal de 200 kHz. El uso de anchos de banda relativamente estrechos (100 kHz por canal) y filtros de canal estrechos hace que esta interfaz radio sea flexible respecto a la asignación y compartición de frecuencias. Esto es particularmente importante en el entorno satélite ya que facilita la coordinación de frecuencias en una banda cada vez más congestionada. La facilidad de usar intervalos estrechos de frecuencia significa que el despliegue puede adaptarse a las condiciones locales de manera muy flexible.

Esta interfaz radio obtiene la eficiencia espectral más alta posible con la tecnología actual para sistemas de satélites geoestacionarios.

Los terminales de usuario usan antenas planas directivas con ganancias entre 10 y 15 dBi. Pueden usarse otros diseños siempre que se alcancen los valores especificados de PIRE. La PIRE máxima del terminal móvil es de 15 dBW. Con el tipo de antena supuesto esto corresponde a una potencia de pico máxima de 1.5 dBW. La potencia media del terminal dependerá del tráfico. Para una llamada de voz de 8 kbit/s la potencia media de salida es de aproximadamente 100 MW.

---

En modo de espera apenas hay transmisión. Se espera una actualización de la posición cada 24 horas.

#### REFERENCIAS

- [http://www.itu.int/imt/2\\_rad\\_devt/proposals/](http://www.itu.int/imt/2_rad_devt/proposals/)
- <http://www.telefonos-moviles.com/articles/default.asp>
- [http://www.umtsforum.net/mostrar\\_articulos.asp](http://www.umtsforum.net/mostrar_articulos.asp)
- <http://www.neutron.ing.ucv.revista-e/No2/HPerozo.htm>
- G. Caire et al. ,”ESA Satellite Wideband CDMA Radio Transmission Technology for the IMT-2000/UMTS Satellite Component”, IEEE GLOBECOM '99.
- P. Taaghoul et al. , “Satellite UMTS/IMT-2000 W-CDMA Air Interfaces”. IEEE Communications Magazine, September 1999.

## VI. CONCLUSIONES

En los últimos años las comunicaciones móviles han tenido un gran desarrollo debido a la necesidad de acortar las distancias y hacer más efectiva y rápida la comunicación interpersonales; a esto se le suma el gran auge del uso de Internet en los últimos años.

La creciente comunicación desde diferentes partes del mundo de forma fácil y con gran calidad, ha propiciado esfuerzos para estandarizar los protocolos de comunicación. Esto es lo que pretende UMTS o IMT-2000 —que es la tercera generación de telefonía celular—, con una familia limitada de estándares que ofrecen servicios multimedia y de alta velocidad para que las personas estén comunicadas en cualquier parte del mundo a cualquier hora. Esto se pretende lograr con una combinación de redes terrestres y satelitales que permitirá una cobertura mundial.

La componente satelital de UMTS no pretende desplazar a la componente terrestre, sino más bien complementarla para ofrecer servicios multimedia de alta calidad en lugares donde era difícil o imposible por la geografía o porque era económicamente inviable; en esta situación se encuentran distintas áreas rurales o países en desarrollo.

UMTS se irá incorporando en varias fases: la primera de ellas será solamente terrestre aunque no se dejará de poner atención a la parte satelital que es esencial para ofrecer una cobertura mundial.

Hoy en día ya está en uso el estándar UMTS en algunos países de Europa y Asia, gracias a la aceptación que tuvo GSM (segunda generación de telefonía móvil) y GPRS. Como se mencionó, la migración de GSM a UMTS no es tan complicada ya que solamente se requiere evolucionar las redes ya existentes.

Para la componente satelital, la ITU hizo una convocatoria para presentar propuestas que pudieran cumplir con los requerimientos establecidos en lo que se refiere a la componente satelital de UMTS. Después de una evaluación de las propuestas presentadas se aceptaron cinco, de las cuales dos son solamente el protocolo para transmitir datos y no proponen ninguna constelación de satélites específica. Las otras tres sí proponen una constelación de satélites con características definidas. Las cinco propuestas que se aceptaron son: SAT-CDMA, SW-CDMA, SW-CTDMA, ICO RTT y HORIZONS. De las tres que sí consideran una constelación específica de satélites, Horizons propone satélites geoestacionarios, SAT-CDMA una red de satélites en órbita baja e ICO una red de satélites en órbita media.

La ventaja principal de la propuesta de ICO es que ya está adelantada y no se tendría que comenzar un nuevo proyecto para poder ofrecer el servicio satelital de UMTS.

Otra de las ventajas es que esta red satelital fue diseñada para ser flexible y poder adaptar dentro de ella nuevas tecnologías sin tener que comenzar de nuevo. ICO fue diseñado para trabajar en una órbita media debido a las ventajas que ofrece ésta, una de las cuales es que para dar cobertura total a la tierra en la órbita MEO se requieren de 6 a 20 satélites. En cambio, si se usara una de órbita baja LEO, serían necesarios de 40 a 70 satélites. La elección de la configuración orbital ha tenido en cuenta no sólo la calidad de servicio ofrecida al usuario, sino los riesgos técnicos relacionados con los propios satélites, y los problemas de desarrollo y control de los mismos. Se concluyó que la órbita MEO ofrecería la mejor calidad de servicio para el mercado al que sería destinado. Sus ventajas para un número razonable de satélites son:

- Alto ángulo promedio de elevación desde los usuarios al satélite, minimizando la probabilidad de bloqueo.
- Alta probabilidad de que los usuarios encuentren en su campo de visión más de un satélite, lo cual ofrece una buena diversidad espacial.
- Pequeño desplazamiento de los satélites (en torno a un grado por minuto).

Los estudios realizados para cada uno de los tres tipos de constelación concluyen que la órbita MEO supone una implementación y cobertura razonables. El elevado número de satélites que necesita la LEO, y considerando su corto tiempo de vida en el entorno de radiación al que estarían sometidos, hace que se descarte esta constelación. Si se optara por el empleo de satélites GEO, estos serían muy complejos debido al elevado número de emisiones necesarias y los servicios se caracterizarían por un retardo temporal relativamente grande. En la constelaciones MEO un valor característico del retardo es de menos de 200ms, lo cual está dentro de los límites aceptables.

Por esta razón, desde mi punto de vista, sería bueno usar la propuesta que hizo ICO, ya que esta constelación tiene un gran avance y se podría ofrecer el servicio a más corto plazo y sin hacer una inversión inicial tan fuerte.

Lo que propone ICO es usar una red satelital de órbita media. El sistema de comunicaciones de ICO se puede dividir en dos partes. La primera es el segmento espacial que consta de 10 satélites operativos y dos de reserva colocados en dos planos ortogonales a 45° del ecuador, seis satélites en cada plano, esto provee cobertura en toda la superficie terrestre además de que proporciona diversidad espacial. La otra parte del sistema ICO es el segmento terrestre que consta de 12 estaciones terrenas (SAN's) repartidas por todo el mundo. A esta red de SAN's (*Service Access Node*) se le llama ICONET, que es la interfaz entre la red de satélites y las otras redes terrestres; estas estaciones terrenas están unidas por líneas de alta velocidad. Las *Gateways*, localizadas por todo el mundo, son las interfaces de las estaciones terrenas con la red telefónica pública conmutada (PSTN - *Public Switched Telephone Network*) y la red móvil terrena pública (PLMN - *Public Land Mobile Network*), las cuales son supervisadas por un tercero que autoriza el acceso al sistema ICO.

A grandes rasgos, el funcionamiento del sistema es el siguiente:

- Cuando la llamada proviene de un abonado del sistema ICO, el satélite que recibe con mayor amplitud la señal de los dos, tres o incluso cuatro satélites que pueden cubrir al abonado al mismo tiempo, es el que se encarga de enviarla al SAN más próximo. El SAN comprueba la validez de su solicitud de conexión y se encarga de encaminar la llamada a otro abonado del sistema o a otras redes terrestres.
- Cuando la llamada proviene de otra red terrestre, el SAN correspondiente es el encargado de encaminar la llamada hacia el SAN más cercano al lugar donde se encuentre el abonado destino. Este último SAN será el encargado de enviar la señal al satélite para que éste la envíe hacia el abonado destino.

En un principio ICO fue diseñado para ofrecer servicios de telefonía móvil, mensajes y fax móvil a una velocidad de 48Kb/s. Después de la compra de ICO por parte de McCaw, se decidió hacerle modificaciones a los restantes 11 satélites para que esta constelación pudiera ofrecer servicios a una velocidad de 144 Kb/s, lo cual cumple con lo requerido por la ITU para ofrecer servicios de tercera generación.

Se contempla que la red satelital de ICO estaría funcionando en su totalidad para el 2007.

Las propuestas SW-CDMA y SW-CTDMA son solamente los protocolos de comunicación para la componente satelital de UMTS. Estas dos propuestas no especifican una red de satélites y mencionan que pueden operar con cualquier tipo de arquitectura y con satélites en cualquier tipo de órbita. Con base en lo anterior se puede decir que en un futuro cercano sería una buena opción usar los satélites de ICO con una de estas dos propuestas, lo que haría que la red terrestre y la red satelital se parecieran más en lo referente a la componente radio de cada una de ellas, y que los teléfonos para el usuario fueran más sencillos y baratos, además de hacer más fácil la conexión entre las redes terrestres y las redes satelitales.

## ANEXO 1. GLOSARIO

<b>1G</b>	<i>First generation</i>	<b>DCPCH</b>	<i>Dedicated Control Physical Channel</i>
<b>2.5G</b>	<i>2.5 generation</i>	<b>DCS-1800</b>	<i>Digital Cellular System at 1800MHz</i>
<b>2G</b>	<i>Second generation</i>	<b>DDPCH</b>	<i>Dedicated Physical Data Channel</i>
<b>3G</b>	<i>Third generation</i>	<b>DECT</b>	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
<b>8PSK</b>	<i>Phase Shift Key</i>	<b>DPDCH</b>	<i>Dedicated Physical Data Channel</i>
<hr/> <b>A</b> <hr/>		<b>DRA</b>	<i>Direct Radiation Array</i>
<b>ADC</b>	<i>Administration Data Centre</i>	<b>DSCH</b>	<i>Downlink Shared Channel</i>
<b>AMPS</b>	<i>Advanced Mobile Phone System</i>	<b>DTCH</b>	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
<b>ANSI</b>	<i>American National Standard Institute</i>	<hr/> <b>E</b> <hr/>	
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>	<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
<b>AuC</b>	<i>Authentication Centre</i>	<b>EDI</b>	<i>Electronic Data Interchange</i>
<hr/> <b>B</b> <hr/>		<b>EIR</b>	<i>Equipment Identity Register</i>
<b>BCCH</b>	<i>Broadcast Control Channel</i>	<b>ESA</b>	<i>European Space Agency</i>
<b>BCH</b>	<i>Broadcast Channel</i>	<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<b>BER</b>	<i>Bit Error Rate</i>	<hr/> <b>F</b> <hr/>	
<b>BSC</b>	<i>Base Station Controller</i>	<b>FACH</b>	<i>Forward Access Channel</i>
<b>BSS</b>	<i>Base Station System</i>	<b>FCC</b>	<i>Federal Communications Commission</i>
<b>BTS</b>	<i>Base Transceptor/transceiver Station</i>	<b>FDD</b>	<i>Frequency Division Duplex</i>
<hr/> <b>C</b> <hr/>		<b>FDMA</b>	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
<b>CCPCH</b>	<i>Common Control Physical Channel</i>	<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction</i>
<b>CDMA</b>	<i>Code Division Multiple Access</i>	<b>FER</b>	<i>Frame Error Rate</i>
<b>CEPT</b>	<i>Conférence Européenne des Postes et Télécommunications</i>	<b>FPLMTS</b>	<i>Future Public Land Mobile Telecommunication System</i>
<b>CIR</b>	<i>Carrier Interface Radio</i>	<hr/> <b>G</b> <hr/>	
<b>CN</b>	<i>Core Network</i>	<b>G/T</b>	<i>Gain/Time</i>
<b>COFETEL</b>	<i>Comisión Federal de Telecomunicaciones</i>	<b>GCC</b>	<i>Geo Control Centre</i>
<b>CRC</b>	<i>Cyclic Redundancy Code</i>	<b>GEO</b>	<i>Geostationary Earth Orbit</i>
<hr/> <b>D</b> <hr/>			
<b>D-AMPS</b>	<i>Digital AMPS</i>		
<b>DCCH</b>	<i>Dedicated Control Channel</i>		

<b>GGSN</b>	<i>Gate GSN</i>	<b>luPS</b>	<i>lu Packet Switched</i>
<b>GGSN</b>	<i>Gateway GPRS Support Node</i>		
<b>GMSC</b>	<i>Gateway MSC</i>	<b>M</b>	
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Service</i>		
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>	<b>MAC</b>	<i>Medium Access Control</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>	<b>MAP</b>	<i>Mobile applicator Part</i>
		<b>ME</b>	<i>Mobile Equipment</i>
<b>GSN</b>	<i>GPRS Support Nodes</i>	<b>MEO</b>	<i>Medium Earth Orbit</i>
		<b>MF</b>	<i>Multi-Frequency</i>
<b>H</b>		<b>MRC</b>	<i>Maximal Ratio Combining</i>
		<b>MS</b>	<i>Mobile Station</i>
<b>HEO</b>	<i>Heliosynchronous Earth Orbit</i>	<b>MSC</b>	<i>Mobile Switching Centre</i>
<b>HLR</b>	<i>Home Location Register</i>	<b>MSC</b>	<i>Mobile-Services Switching Centre</i>
<b>HSCSD</b>	<i>High Speed Circuit Switched Data</i>	<b>MT</b>	<i>Mobile Terminal</i>
<b>I</b>			
		<b>N</b>	
<b>ICO</b>	<i>International Communications Organization</i>	<b>NC</b>	<i>Normal Control</i>
<b>IMEI</b>	<i>International Mobil Equipment Identity</i>	<b>O</b>	
<b>IMSI</b>	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>	<b>OSI</b>	<i>Open System Interconnection</i>
<b>IMT-2000</b>	<i>International Mobile Telecommunications</i>	<b>P</b>	
<b>IMTS</b>	<i>Improved Mobile Telephone System</i>	<b>PABX</b>	<i>Private Automatic Branch Exchange</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>	<b>PC</b>	<i>Personal computer</i>
<b>IS-136</b>	<i>International Standard 136</i>	<b>PCH</b>	<i>Paging Channel</i>
<b>IS-54</b>	<i>International Standard 54</i>	<b>PCS</b>	<i>Personal Communication System</i>
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Services Digital Network</i>	<b>PD</b>	<i>Protocol Discriminator</i>
<b>ISP</b>	<i>Internet Service Provider</i>	<b>PDC</b>	<i>Personal Digital Cellular</i>
<b>ITU</b>	<i>International Telecommunications Union</i>	<b>PDN</b>	<i>Packet Data Network</i>
		<b>PDP</b>	<i>Packet Data Protocol</i>
<b>IWF</b>	<i>InterWorking Function</i>	<b>PIRE</b>	<i>Potencia Isotr�pica Radiada Equivalente</i>
<b>J</b>		<b>PLMN</b>	<i>Public Land Mobile Network</i>
		<b>PMR</b>	<i>Privete Mobile Radio</i>
<b>J-FPLMTS</b>	<i>Japan Future Public Land Mobile Telecommunications Services</i>	<b>PMT</b>	<i>Public Mobile Telephony</i>
		<b>PRACH</b>	<i>Physical Random Access Channel</i>
<b>L</b>		<b>PSTN</b>	<i>Public Switched Telephone Network</i>
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i>	<b>Q</b>	
<b>LEO</b>	<i>Low Earth Orbit</i>	<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>
<b>LES</b>	<i>Land Earth Station</i>		
<b>luCS</b>	<i>lu Circuit Switched</i>		

**R**


---

<b>RACH</b>	<i>Random Access Channel</i>
<b>RF</b>	<i>Radio Frequency</i>
<b>RNC</b>	<i>Radio Network Controller</i>
<b>RNS</b>	<i>Radio Network Subsystem</i>
<b>RTCH</b>	<i>Random Traffic Channel</i>
<b>RTT</b>	<i>Radio Transmission Technology</i>

**S**


---

<b>SAN</b>	<i>Satellite Access Network</i>
<b>SAT-CDMA</b>	<i>Satellite Code Division Multiple Access</i>
<b>SCC</b>	<i>Satellite Control Centre</i>
<b>SGSN</b>	<i>Serving GPRS Support Node</i>
<b>SIM</b>	<i>Subscriber Identity Module</i>
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i>
<b>SMS-C</b>	<i>SMS Center</i>
<b>SN</b>	<i>Symbol Number</i>
<b>SNIR</b>	<i>Signal Noise Interface Ratio</i>
<b>SNR</b>	<i>Signal Noise Ratio</i>
<b>SRAN</b>	<i>Satellite radio Access Network</i>
<b>SW/CTDMA</b>	<i>Satellite Wideband CTDMA</i>
<b>SW-CDMA</b>	<i>Satellite Wideband CDMA</i>

**T**


---

<b>T/FDD</b>	<i>Time/Frecuency Division Duplex</i>
<b>TA</b>	<i>Terminal Adaptor</i>
<b>TACS</b>	<i>Total Access Communications System</i>
<b>TDD</b>	<i>Time Division Duplex</i>

<b>TDMA</b>	<i>Time division Multiple Access</i>
<b>TE</b>	<i>Terminal Equipment</i>
<b>TETRA</b>	<i>Trans European Trunking Radio</i>
<b>TIA</b>	<i>Telecommunications Industry Association</i>
<b>TMSI</b>	<i>Temporary Mobile Subscriber Identity</i>
<b>TTA</b>	<i>Telecommunication Technology Association</i>

**U**


---

<b>UE</b>	<i>User Equipment</i>
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunication Systems</i>
<b>UPT</b>	<i>Universal Personal Telecommunications</i>
<b>USIM</b>	<i>User Services Identity Module</i>
<b>UT</b>	<i>User Terminal</i>
<b>UTRA</b>	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
<b>UWC</b>	<i>Universal Wireless Communication</i>

**V**


---

<b>VHE</b>	<i>Virtual Home Environment</i>
<b>VLR</b>	<i>Visitor Location Register</i>

**W**


---

<b>WAN</b>	<i>Wide Area Network</i>
<b>W-CDMA</b>	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
<b>WRC</b>	<i>World Radio Conference</i>

## ANEXO 2. CÁLCULOS PARA OBTENER LA FIGURA IV.4

Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	10	0.913218002	0.419683374	24.04602982	14.04602982	66.89169	67
1000	10	0.851331266	0.552278692	31.64316419	21.64316419	28.36822	29
1500	10	0.797300031	0.647987652	37.12687082	27.12687082	18.18158	19
6000	10	0.507446294	1.038577756	59.50598297	49.50598297	5.703971	6
7000	10	0.469515289	1.082054612	61.99701752	51.99701752	5.204279	6
8000	10	0.436860489	1.118690795	64.09611123	54.09611123	4.835889	5
9000	10	0.4084526	1.15003817	65.89217934	55.89217934	4.553217	5
10000	10	0.383513712	1.177198389	67.44834163	57.44834163	4.329546	5
11000	10	0.361444969	1.200979157	68.81087604	58.81087604	4.148195	5
36000	10	0.148218899	1.422029291	81.47608622	71.47608622	2.931252	3

Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	20	0.871382279	0.512783516	29.38026254	9.380262539	149.5697	150
1000	20	0.812330657	0.622658918	35.675644641	5.67564464	53.77286	54
1500	20	0.760774664	0.706290448	40.467367142	0.46736714	31.68126	32
6000	20	0.484199509	1.065348282	61.039817534	1.03981753	8.138431	9
7000	20	0.448006174	1.106262392	63.384017884	3.38401788	7.319709	8
8000	20	0.416847333	1.140822147	65.364141334	5.36414133	6.724887	7
9000	20	0.389740847	1.170446156	67.061468064	7.06146806	6.273761	7
10000	20	0.365944443	1.196148891	68.534122874	8.53412287	5.920179	6
11000	20	0.344886697	1.218678253	69.824957214	9.82495721	5.635761	6
36000	20	0.141428796	1.428891757	81.869275616	1.86927561	3.784171	4

Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	30	0.803069924	0.638366974	36.57564787	6.575647866	304.0205	305
1000	30	0.748647676	0.724776407	41.52653208	11.52653208	99.1679	100
1500	30	0.701133436	0.793810466	45.48188307	15.48188307	55.1188	56
6000	30	0.446240499	1.108236378	63.49711867	33.49711867	12.04187	13
7000	30	0.412884554	1.145177417	65.61367934	35.61367934	10.69295	11
8000	30	0.384168423	1.176489367	67.40771775	37.40771775	9.724404	10
9000	30	0.35918696	1.203399757	68.94956588	38.94956588	8.996795	9
10000	30	0.337256084	1.226795635	70.29004783	40.29004783	8.430978	9
11000	30	0.317849169	1.247336175	71.46693135	41.46693135	7.978837	8
36000	30	0.13034143	1.440082987	82.51048437	52.51048437	5.110052	6

Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	40	0.710356581	0.780791627	44.73596027	4.735960272	585.7798	586
1000	40	0.662217308	0.847022295	48.53068915	8.530689149	180.7746	81
1500	40	0.620188523	0.901813322	51.66997644	11.66997644	96.75317	97
6000	40	0.394722633	1.165030375	66.75116739	26.75116739	18.68622	19
7000	40	0.365217587	1.196929802	68.57886563	28.57886563	16.41483	17
8000	40	0.339816695	1.22407434	70.13412948	30.13412948	14.79858	15
9000	40	0.317719309	1.247473135	71.47477858	31.47477858	13.59337	14
10000	40	0.298320323	1.267863967	72.64308441	32.64308441	12.66194	13
11000	40	0.28115391	1.285800017	73.67074199	33.67074199	11.92155	12
36000	40	0.115293687	1.455245674	83.37924027	43.37924027	7.321243	8
Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	50	0.596059312	0.932212033	53.41169018	3.411690176	1128.476	1129
1000	50	0.555665709	0.981632872	56.24328907	6.243289067	337.2144	338
1500	50	0.520399408	1.023477709	58.64081604	8.640816044	176.2045	177
6000	50	0.331211264	1.233209319	70.657524	20.657524	31.10687	32
7000	50	0.306453617	1.25933118	72.15419288	22.15419288	27.09	28
8000	50	0.28513976	1.281644088	73.43262537	23.43262537	24.25064	25
9000	50	0.266597872	1.30093491	74.53790546	24.53790546	22.14504	23
10000	50	0.250320207	1.317785349	75.50336225	25.50336225	20.52536	21
11000	50	0.235915892	1.332635371	76.35420386	26.35420386	19.24305	20
36000	50	0.096742788	1.473901995	84.44816624	34.44816624	11.40494	12
Altura [Km]	$\beta$ [°]	$\cos(\alpha+\beta)$	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [Rad.]	$\text{acos}(\alpha+\beta)$ [°]	$\alpha$ [°]	# de sat.	Número de Sat
500	60	0.463650998	1.088684868	62.37690231	2.376902309	2324.571	2325
1000	60	0.43223041	1.123831625	64.3906584	4.390658399	681.4853	682
1500	60	0.404798147	1.154038255	66.12136677	6.121366767	350.7677	351
6000	60	0.257636161	1.31022135	75.06997803	15.06997803	58.15448	59
7000	60	0.238378166	1.330100795	76.20898365	16.20898365	50.31414	51
8000	60	0.221798958	1.347137332	77.18510304	17.18510304	44.79786	45
9000	60	0.207375955	1.361904489	78.03119684	18.03119684	40.72315	41
10000	60	0.194714203	1.374830259	78.77178719	18.77178719	37.59935	38
11000	60	0.183509655	1.386240771	79.42555985	19.42555985	35.13341	36
36000	60	0.075252394	1.495472727	85.68407526	25.68407526	20.24231	21