

Comunicaciones Móviles Vía Satélite

Pasado, Presente y Futuro

C. Abad, J. Beguiristain

La creciente demanda en el sector de las comunicaciones móviles ha obligado la introducción de nuevas tecnologías como contestación a la necesidad de una mayor velocidad de transmisión en las comunicaciones y un gasto económico inferior, de esta manera se vio la necesidad de introducir el satélite en las comunicaciones terrestres como posible solución. Sobre la base de estas pretensiones, el desarrollo de la componente espacial ha experimentado un fuerte impulso. El objetivo de las presentes páginas es describir las nuevas tendencias y desarrollos de los sistemas de comunicación por satélite, tomando como base las nuevas tecnologías y nuevos sistemas que están haciendo su aparición en los últimos años. Mediante un seguimiento cronológico, se analizan los diferentes proyectos de comunicaciones móviles vía satélite. Abarcando tanto los sistemas basados en órbitas geostacionarias (*GEO*) como órbitas de baja altura (*LEO*), donde se centra el artículo, incluyendo las posibles alternativas a la comunicación vía satélite.

Introducción

El satélite proporciona la posibilidad de resolver el problema de las comunicaciones de una forma muy rápida y con unas inversiones mucho más reducidas. Sin embargo, estas soluciones tienen dificultades. Los requerimientos de capacidad no son en absoluto uniformes sobre la superficie de la tierra y es muy difícil penetrar en estructuras construidas transmitiendo desde centenares de kilómetros de altura.

El satélite no pretende ser la solución final sino una solución complementaria y en tal sentido se han desarrollado los proyectos europeos. Finalmente muestra un par de soluciones alternativas al satélite, los planeadores y los globos dirigibles. Es difícil asegurar que tengan éxito en el futuro, debido a que las tecnologías de base no estén suficientemente desarrolladas. Reduciéndose su uso a ciertas áreas geográficas locales.

Otro aspecto que involucra el segmento espacial es la Banda de Frecuencia, el ITU ha establecido las siguientes bandas de frecuencias para las transmisiones satelitales:

- Banda C¹ y Banda Ku² para aplicaciones civiles. [1]

¹ Frecuencias de 3,7 a 4,2 GHz. La potencia de emisión es relativamente débil, si la comparamos con la de la Banda Ku. Por ello necesita parabólicas de gran tamaño para su recepción.

² Frecuencias de 10,70 a 12,75 GHz. Es la banda más extendida en Europa, teniendo en cuenta del pequeño tamaño de las parabólicas necesarias para su recepción. Se subdivide en sub-bandas: Télécom, DBS y otras.

- Banda X³ para aplicaciones militares.
- Banda Ka⁴ para sistemas experimentales.[2]

Los expertos en satélites utilizan tres términos básicos para describir las diversas altitudes, que son los que son : *GEO*, *MEO*, *LEO*. [3]

♣ **GEO**

Abreviatura de Órbita Terrestre Geosíncrona. Los satélites *GEO* orbitan a 35848 kilómetros sobre el ecuador terrestre. A esta altitud, el periodo de rotación del satélite es exactamente 24 horas y, por lo tanto, parece estar siempre sobre el mismo lugar de la superficie del planeta. La mayoría de los satélites actuales son *GEO*, así como los futuros sistemas *Spaceway*, de Hughes, y *Cyberstar*, de Loral

Los *GEO* precisan menos satélites para cubrir la totalidad de la superficie terrestre. Así mismo, los *GEO* necesitan obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (unos 1600 kilómetros o dos grados). La ITU y la FCC (en los Estados Unidos) administran estas posiciones.

³ Frecuencias de 7,25 a 8,40 GHz. Esta banda está reservada exclusivamente para usos militares.

⁴ Frecuencias de 20 a 30 GHz. Se utiliza mucho para la transmisión de datos.

♣ MEO

Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 kilómetros. A diferencia de los *GEO*, su posición relativa respecto a la superficie no es fija. Al estar a una altitud menor, se necesita un número mayor de satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia se reduce substancialmente. En la actualidad no existen muchos satélites *MEO*, y se utilizan para posicionamiento.

♣ LEO

Las órbitas terrestres de baja altura prometen un ancho de banda extraordinario y una latencia reducida. Existen planes para lanzar enjambres de cientos de satélites que abarcarán todo el planeta. Los *LEO* orbitan generalmente por debajo de los 5035 kilómetros, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 600 y los 1600 kilómetros. A tan baja altura, la latencia adquiere valores casi despreciables de unas pocas centésimas de segundo.

Tres tipos de *LEO* manejan diferentes cantidades de ancho de banda. Los *LEO* pequeños están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda (de decenas a centenares de Kbps), como los buscapersonas, e incluyen a sistemas como *OrbComm*⁵. Los grandes *LEO* pueden manejar buscapersonas, servicios de telefonía móvil y algo de transmisión de datos (de cientos a miles de Kbps). Los *LEO* de banda ancha (también denominados *megaLEO*) operan en la franja de los Mbps y entre ellos se encuentran *Teledesic*, *Celestri*⁶ y *SkyBridge*. [4]

Inicios del satélite en las comunicaciones móviles

Al comenzar la revolución de las comunicaciones móviles se pensó que el satélite podría ser una solución adecuada para resolver el problema que planteaban las grandes inversiones que iba a requerir la telefonía móvil de una forma rápida. La sociedad estaba globalizada y había que llegar a todos los usuarios de una forma global, y para ello nada mejor que hacerlo desde satélites. [5]

Inicialmente, los satélites se utilizaban sobre todo para garantizar las comunicaciones

⁵ Primer sistema satelital comercial de comunicaciones bidireccionales y móviles para la transmisión de mensajes y datos por paquetes entre dos puntos cualesquiera del planeta.

⁶ Es un proyecto ya abandonado. Fue impulsado por Motorola, también involucrado en el proyecto *Iridium*. Durante su existencia, era el proyecto más ambicioso de comunicaciones de banda ancha mediante satélites *LEO*, siendo, potencialmente, el mayor competidor directo de *Teledesic*.

internacionales a través del sistema *INTELSAT*⁷ Las estaciones de satélite eran muy grandes y estratégicas para las comunicaciones del país. Con el desarrollo de las fibras ópticas submarinas, el uso de estos sistemas para comunicaciones internacionales decayó considerablemente, pero los satélites siguieron siendo una inversión muy rentable gracias a su utilización para la difusión de televisión. En un principio analógica y, más recientemente, a través de la señal digital codificada según los estándares MPEG. [6]

Además de para la distribución de TV, los grandes satélites de comunicaciones se emplean para telecomunicaciones bidireccionales por medio de los sistemas *VSAT*⁸. El uso de este sistema ha permitido la comunicación muy rápida con nuevas ubicaciones. Los sistemas *VSAT* se han utilizado y continúan en uso para la provisión de servicios de telecomunicaciones en áreas de difícil acceso, para sistemas de vigilancia y telegigilancia (acueductos, oleoductos, niveles de ríos) sistemas de telepuertos de baja y media capacidad, etc. No se puede considerar a un sistema *VSAT* como un sistema móvil, si bien algunos sistemas modernos, con antenas muy pequeñas y fácilmente orientables, hacen difícil diferenciarlo de algunos sistemas calificados como "móviles".

La mayoría de los sistemas que se utilizan hoy en día para dar comunicación a barcos y aviones se pueden considerar, en cierto modo, como estaciones *VSAT* muy mejoradas y simplificadas. Entre las diversas soluciones disponibles, la más importante en cuanto a número de usuarios y extensión de cobertura son las basadas en satélites *Inmarsat*.

♣ Inmarsat

La organización *Inmarsat* dispone, desde 1979, de soluciones *VSAT* para las comunicaciones móviles (inicialmente desde barcos, luego extendida a sistemas aeronáuticos -1985- y terrenos -1989-) [7]

El catálogo de *Inmarsat* [8] es muy amplio, pues comprende desde los iniciales sistemas *Inmarsat-C*, pensado para comunicaciones desde barcos, hasta soluciones *VSAT* mucho más avanzadas, con el fin de responder a las necesidades del mercado de las telecomunicaciones en fase de plena expansión.

Por esta razón surgió el sistema *Inmarsat-3*, cuyo lanzamiento se culminó el 4 de abril de 1996 con el lanzamiento del primero de los cinco satélites

⁷ *INTELSAT* es el mayor proveedor de servicios de comunicaciones por satélite del mundo. Su sistema global de satélites lleva telefonía, televisión, y servicios de distribución de datos a billones de personas en todos los continentes. *INTELSAT* fue la primera, y sigue siendo la única organización que proporciona una extensa cobertura global de satélites y conectividad para un amplio abanico de servicios de telecomunicaciones.

⁸ La red *VSAT* (Very Small Aperture Terminal) permite comunicar sitios geográficamente dispersos, integrándolos en una sola red.

Inmarsat-3, 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 escala mundial, haciendo posible la disminución de las tarifas de los servicios de comunicaciones, funcionando con terminales incluso más pequeños, más económicos y transportables.

A lo largo de los años 97 y 98 se fueron introduciendo 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*.

♣ Redes VSAT

El elemento básico que configura una Red *VSAT* es una estación terrestre (*HUB*⁹), con antena de relativamente grandes dimensiones, a la cual se conectan, vía satélites (Segmento Espacial), terminales de muy pequeña apertura (Terminales *VSAT*) [2]

Las redes *VSAT* utilizan los satélites como principal medio de transmisión para el intercambio de información. Estos satélites, generalmente pertenecen a empresas proveedoras exclusivamente de este servicio, lo que limita su manejo; además, como único canal de comunicación, debe ser compartido por muchos usuarios, por lo cual es necesario contar con técnicas o protocolos de acceso que garanticen la correcta transmisión de la información.

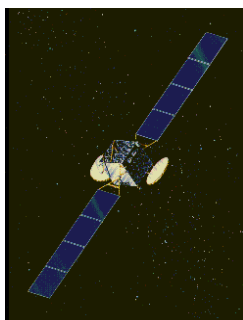


Fig. 1 Satélite VSAT

⁹ Es la estación central de una red *VSAT*, se encarga de organizar el tráfico entre terminales *VSAT* y optimizar el acceso a la capacidad del satélite. Habitualmente el *HUB* está situado en la sede central de la empresa que usa la red o en su centro de cálculo.

Los satélites, por lo general, se colocan en órbitas geoestacionarias (*GEO*) que permiten que desde la tierra se les vea siempre en la misma posición. Al ser geoestacionarios los satélites, no es preciso que los equipos terrestres lleven un sistema de seguimiento, sin embargo durante la instalación de estos equipos es necesario realizar el apuntamiento de la antena.

Hay otras soluciones de utilización mucho más escasas como son los sistemas de datos en modo almacenamiento y retransmisión. Estos sistemas utilizan satélites en órbitas más bajas que las *GEO*. Al no usar órbitas estacionarias, los satélites tienen un movimiento aparente en el cielo (*LEO*). Para establecer una comunicación (de datos) se envían éstos cuando hay visibilidad del satélite y éste se encarga de reenviar los datos cuando está en la vertical del receptor deseado.

♣ LEO vs. GEO

Los sistemas de órbita Geoestacionaria *GEO* tienen la gran ventaja de que los satélites están situados en una posición relativa fija en el cielo y no es, por tanto, necesario realizar un seguimiento de los mismos para establecer la comunicación. Además, un único satélite es capaz de dar servicio, de forma permanente, a una zona muy amplia. [3]-[5]

Sin embargo la órbita Geoestacionaria presenta un problema fundamental. Está situada a 35.848 Km de altura, con lo que el retardo y la atenuación sufrida por las comunicaciones son muy elevados. Las comunicaciones a través de un *GEO* perpetúan una latencia mínima de transmisión de ida y retorno (un retardo de extremo a extremo) de por lo menos medio segundo, incluyendo los retardos provocados por las diversas pasarelas y conversiones que deben sufrir los datos. Esto significa que los *GEO* nunca podrán proveer demoras similares a las fibras ópticas. Esta latencia de *GEO* es la fuente de demora fastidiosa en muchas de las llamadas internacionales, impidiendo que se pueda entender la conversación y deformando el matiz personal de la voz. Lo que puede ser una incomodidad en una conversación telefónica, sin embargo, puede ser insostenible para aplicaciones en tiempo real, tales como videoconferencias, como también para muchos protocolos estándares de datos, aún para los protocolos subyacentes de Internet.

Por tal motivo, ya desde hace algún tiempo, se pensó en utilizar órbitas no estacionarias. El pionero en su utilización fue la antigua URSS.

A partir de principios de los años 90 se propuso realizar una serie de soluciones mucho más avanzadas. El aspecto central de los nuevos sistemas es la utilización de órbitas mucho más bajas denominadas *LEO* (Low Earth Orbit). Las órbitas *LEO*, al encontrarse más cerca de la Tierra tienen un retardo más pequeño que las *GEO* y, además, debido a sus

menores atenuaciones pueden utilizarse antenas no directivas.

El inconveniente mayor de los sistemas de órbita baja (*LEO*) es que los satélites no se encuentran (aparentemente) estacionarios en el cielo. Esto obliga a que, o bien se dispone de un sistema de seguimiento complicado, o se utilizan constelaciones de satélites relativamente numerosas, de forma que en cada momento exista visibilidad con varios satélites. Así, cuando un satélite desaparece por el horizonte se puede hacer traspaso otro satélite del sistema.

Por otro lado se pueden destacar otros inconvenientes asociados a los sistemas *LEO*: [3]

- **Saturación de las órbitas:** En algunos sectores se ha mostrado cierta preocupación por la gran cantidad de satélites que podrían juntarse en una porción relativamente pequeña del espacio, ya que son numerosos los sistemas de satélites *LEO* proyectados.
- **Chatarra espacial:** el problema de la llamada "chatarra espacial", que consiste en restos de las anteriores misiones espaciales de todos los tamaños, velocidades y peligrosidades.
- **Pérdida y sustitución de satélites:** Aunque los satélites no resulten alcanzados por los escombros espaciales, cabe la posibilidad de que caigan a la atmósfera. A diferencia de los *GEO*, que cuando acaban su vida útil se desplazan a una órbita de estacionamiento unos pocos kilómetros más alejada de lo normal, los *LEO* se desintegrarán en la atmósfera. Aunque la vida de un satélite oscila entre los 10 y 12 años, con los *LEO* debe tenerse en cuenta una política de sustitución de satélites.
- **Visibilidad del satélite:** Un satélite *LEO* resulta visible durante 18-20 minutos antes de que desaparezca en el horizonte. Esto complica en gran medida el posicionamiento de la antena y el trabajo para mantener activo el enlace.
- **Direccionamiento mediante enlaces intersatélite:** Otro problema interesante es el del direccionamiento de la señal entre dos puntos alejados de la superficie terrestre. Una posibilidad es la de realizarlo a través de estaciones terrenas, pero eso conlleva perder la ventaja de la latencia reducida. La otra posibilidad, es la de utilizar un direccionamiento de satélite a satélite. La desventaja de este método es, evidentemente, que cada satélite debe disponer de más hardware de comunicaciones y seguimiento (mas inteligencia) y, por lo tanto, su precio será más elevado que en el caso de utilizar estaciones terrenas.

Los sistemas de órbita baja de Segunda Generación (LEO)

♣ Proyecto Iridium

Propuesto por Motorola en 1990, fue el primero de los proyectos que proponían utilizar satélites en gran escala. El sistema constaba inicialmente de 77 satélites (de ahí "*Iridium*", que es el nombre en inglés del elemento de número atómico 77, Iridio) que en órbitas bajas (780 Km), cubrirían toda la Tierra. Posteriormente, se redujo el número de satélites a 66. Se utiliza *TDMA* y una señalización similar a *GSM*. El empleo de enlaces entre satélites disminuye el retardo entre las comunicaciones.[5]-[9]

El sistema *Iridium* estaba dirigido a viajeros de negocios de nivel adquisitivo medio y alto. Los estudios de mercado mostraban unas perspectivas muy interesantes. En un principio, *Iridium* intentó competir con los operadores de sistemas móviles terrestres. Sin embargo, fallos iniciales en la puesta en servicio y demoras en la entrega de los primeros terminales dañaron considerablemente la imagen *Iridium*. La compañía cambió de política, dirigiéndose entonces a los operadores ofreciendo su servicio como alternativa para zonas con difícil cobertura y áreas marítimas o desérticas. Sin embargo, los altos costes de operación que no se justificaban con los escasos terminales vendidos, hicieron que se declarara en quiebra a mediados de 1999, a los pocos meses de comenzar el servicio comercial. Ello trajo consigo un proceso de falta de confianza en otras soluciones como *ICO* y *Globalstar*.

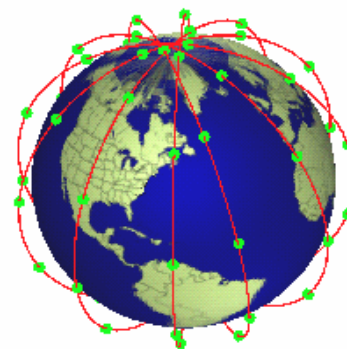


Fig. 2 Constelación Sistema Iridium

♣ Sistema ICO

El sistema de satélites de *ICO* está compuesto por doce satélites que operan en órbitas medias a una altitud de 10,390 Km, de los cuales sólo diez son operativos y dos se tienen de reserva en caso de mal funcionamiento. Los satélites se encuentran situados en dos órbitas ortogonales inclinadas 45 grados respecto al ecuador, de esta forma cada satélite cubre

aproximadamente una quinta parte de la superficie terrestre y da unas cuatro vueltas al día a la Tierra. Gracias a esta distribución orbital, se asegura que un usuario esté cubierto por al menos dos satélites donde quiera que se encuentre (a veces hasta 3 y 4) .[5]

La propuesta de *ICO* es más modesta que la de Motorola pero contaba, en principio, con buenos apoyos internacionales, sobre todo los relacionados con su origen desde *Inmarsat* y es de menor coste. Como características puede destacarse la similitud con el sistema *GSM*, del que toma muchos de sus protocolos de red. *ICO* incorpora, además, un sistema de mensajería que debe funcionar incluso en el interior de edificios.

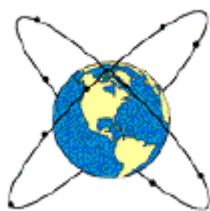


Fig. 3 Sistema ICO

Cada uno de los satélites dispone de un dispositivo en banda C y S¹⁰, con un total de 5100 vatios de potencia y con *PIRE*¹¹ de 58 dBw capaz de cursar 4500 llamadas simultáneas usando la técnica de acceso múltiple *TDMA*. La canalización, enrutamiento y apuntamiento del sistema en banda S se llevará a cabo mediante un procesador digital incorporado. Como se ha dicho, este procesador es capaz de manejar 4500 llamadas usando hasta 163 rayos con apuntamiento independiente, con un ancho de banda total de aproximadamente 30 MHz. (Dependiendo de las necesidades de tráfico en cada instante), estos rayos se generan a partir de arrays de antenas (*DirectRadiationArray:DRA*) que son diferentes en transmisión y recepción, lo cual dota al sistema de una mayor robustez frente al ruido de intermodulación. Cada una de estas antenas dispone de 127 elementos radiantes con filtros paso-banda asociados a cada uno de ellos, la amplificación de las señales se realiza a través de amplificadores de bajo ruido en recepción y con amplificadores de estado sólido de alta potencia en transmisión. Todos estos elementos permitirán al sistema disponer de un exceso de potencia medio en los enlaces de 10 dB y mínimo de 8 dB.

El dispositivo en banda C proporcionará la comunicación de retorno a las *SAN's*, y usa

¹⁰ Frecuencias de 2,7 a 3,5 GHz. Este tipo de frecuencias son explotadas sobre todo para los enlaces intercontinentales de telecomunicación.

¹¹ Potencia isotropa radiada equivalente. La *PIRE* se calcula conociendo la potencia del emisor y la ganancia de la antena y se expresa en decibelios de la forma: $PIRE = 10 \log (Pt \times G)$

aproximadamente 100Mhz de ancho de banda con dos polarizaciones ortogonales. La canalización se realiza en unas 500 subbandas.

La energía del satélite se generará a través de dos paneles solares desplegables (alas) que constarán a su vez de cuatro células de Arseniuro de Galio protegidas mediante una capa de cristal y que serán capaces de proveer una potencia útil de 8500 vatios.[10]

Dichos paneles solares utilizarán una técnica de seguimiento solar, de tal forma que las células siempre se encuentren apuntando al sol y mientras las antenas se mantienen apuntando a la Tierra. Además, dependiendo de la temporada, los satélites efectuarán un giro sobre su eje longitudinal (guiño) que se realizará en las horas de menor influencia solar (noche y madrugada de cada uno de los satélites) para optimizar el aprovechamiento de energía (tanto en los dispositivos térmicos como en los solares)

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.

El sistema de *ICO* tuvo que superar al principio una serie de dificultades, sufrió notablemente con el fracaso de *Iridium* y tuvo que declararse en quiebra incluso antes de tener el sistema disponible. Los primeros lanzamientos de satélites resultaron fallidos y en este momento el proyecto de *ICO* se está modificando para dar mejor servicio a las aplicaciones de datos (144 kbit/s).

♣ Globalstar

El Sistema de Comunicaciones *Globalstar* combina las tecnologías y las normas de comunicaciones celulares móviles y satelitales para proporcionar una solución global del servicio itinerante (roaming) para los usuarios de teléfonos celulares. Dentro de cualquier área de servicio celular, un abonado puede actuar como usuario itinerante de otras redes celulares o conmutar a la red *Globalstar*.[11]

Es un sistema intermedio entre el sistema *Iridium* y el sistema *ICO*. Se utiliza una constelación de 48 satélites de órbita terrestre baja (*LEO*) en órbitas de 1414 kilómetros (878 millas) sobre la Tierra. Se pone el énfasis en comunicaciones con áreas rurales y como solución para incorporarlas a la sociedad de la información. Se usa la técnica de acceso *CDMA* y se propone el uso de sistemas duales (*AMPS/Globalstar; GSM/Globalstar*) con conmutación automática.

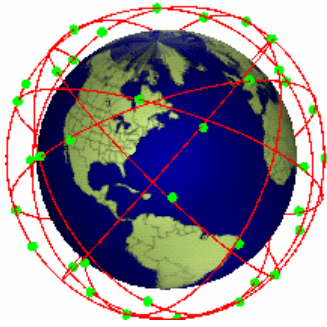


Fig. 4 Sistema Globalstar

Globalstar es un sistema telefónico satelital que: [12]

- Elimina "huecos" en la cobertura telefónica de las redes celulares.
- Brinda servicios de comunicación en áreas no cubiertas por servicios comunes o celulares.
- Proporciona una manera rápida y económica para que las naciones en desarrollo construyan su infraestructura y sus capacidades telefónicas.

De todos los sistemas por satélite, *Globalstar* parece que logrará ponerse en operación. Una de las diferencias de *Globalstar* frente a sus competidores (ahora sólo teóricos) es que su mercado objetivo son los países en vías de desarrollo en los que no existe ninguna cobertura de telefonía convencional. *Globalstar* nunca ha planteado su negocio en competencia con los operadores móviles ni con las operadoras nacionales.

Una de sus características es que dispone de un alto número de puntos de acceso (lugares desde los que se transitan las llamadas del satélite a la red fija) que están a cargo de los operadores convencionales. De esta forma, se desea reforzar la implicación de los países hacia los que está dirigido el proyecto. *Globalstar* no está exento de problemas, han fallado varios de los lanzamientos, con considerables pérdidas económicas y aumento de los seguros. En todo caso, parece que el mercado objetivo presenta aspectos atractivos.

♣ Sistema Ellipso

Este sistema se ha presentado como una opción de más bajo coste, que trata de aprovechar los fracasos de los competidores y de ofrecer un sistema más lento de crecimiento, de forma que se adapte mucho mejor a la demanda que pudiera existir.[13]

El sistema constará de dos constelaciones de satélites, una denominada *Concordia*, destinada a dar cobertura a las zonas ecuatoriales y otra llamada *Borealis* con satélites en órbita altamente elíptica.[14]

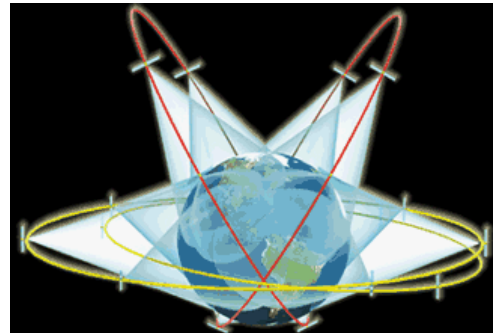


Fig. 5 Sistema Ellipso

La constelación de *Ellipso* no solamente proporciona la eficacia substancialmente mejorada en su colocación de satélites en las áreas pobladas del mundo. Es más, se proporciona a los clientes las grandes diferencias de sus satélites, haciéndoles la comparación con otros sistemas basados en satélites móviles. Puesto que muchos de los utilizadores de *Ellipso* son móviles, pueden tener de tiempo en tiempo un movimiento o que su localización sufra en cierto grado una especie de obstrucción en el cielo como, por ejemplo, de árboles, los edificios, o de algún terreno.

Por esta razón es muy importante que un sistema móvil satelital ofrezca altos ángulos de elevación entre el usuario y el satélite. Cuanto más alto el satélite este en el cielo, menos probable es que el camino entre el utilizador y el satélite sea bloqueado. En virtud de su diseño cuidadosamente adaptado, *Ellipso* proporcionará un mínimo más alto y ángulos de elevación medios en contraste con cualquier otro competidor en su industria.

♣ Teledesic

La red *Teledesic* se enmarca dentro de la tecnología de satélites móviles conocida como *Broadband LEOs*, o *LEOs de Banda Ancha*. [3] Es de hecho el único proyecto de estas características que se está desarrollando en la actualidad. Combina la cobertura global y el bajo retardo de las constelaciones de satélites de órbita baja (*LEO*), con la flexibilidad y robustez de Internet y una calidad de servicio (*QOS*) cercana a la fibra óptica. Son precisamente los estándares de las redes de fibra óptica los que se marca como objetivo el sistema *Teledesic*. Por estas características *Teledesic* ha recibido otros sobrenombres como "*Internet Global*", "*AT&T en el cielo*" ó "*ancho de banda en tiempo real, sin hilos, bajo demanda*".

Se encargó a un grupo de ingenieros el diseño preliminar del proyecto, quienes decidieron utilizar

satélites de órbita baja para evitar retardos en la transmisión, trabajando en la banda Ka para obtener un buen ancho de banda. En un primer momento se estimó que el número de satélites necesarios para llevar a cabo una red de estas características es de 840, aunque posteriormente se rebajó la cifra a 288. *Teledesic* cubrirá el 95% de la superficie seca de la Tierra, y casi el 100% de la superficie habitada, dando acceso a comunicaciones interactivas de gran ancho de banda a todas las zonas de la Tierra, incluyendo aquellas en las que de momento no resulta rentable.

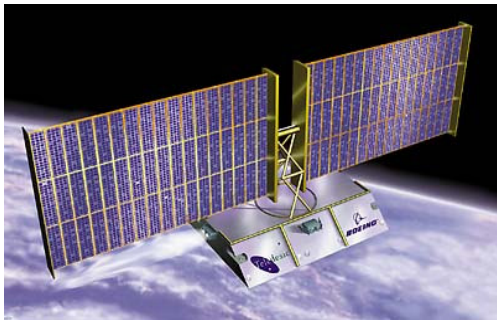


Fig. 6 Satélite Teledesic

Los terminales *Teledesic* permiten una amplia gama de velocidades de transmisión en el enlace con el satélite de la célula en que está enmarcada. Por los datos que se tienen hasta ahora se han podido determinar tres tipos básicos de asignación del ancho de banda:

- **Conexiones estándar:** Tanto en terminales fijos como transportables, en el enlace ascendente pueden operar desde cualquier múltiplo de 16 Kbps (canal básico) hasta un máximo de 2.048 Mbps, ya que se asigna bajo demanda. Éste máximo se puede distribuir como se desee, desde 128 canales de voz a 16 Kbps a un solo canal E1 (2.048 Mbps). El enlace descendente puede llegar hasta 64 Mbps, pudiéndose distribuir también como se desee, desde 4000 canales de voz simultáneos de 16 Kbps, hasta 32 canales E1 simultáneos.
- **Conexiones con terminales de banda ancha:** Ofrecen un ancho de banda de 64 Kbps tanto en el enlace ascendente como descendente.
- **Conexiones GigaLinks:** La red también soporta un pequeño número de terminales fijos para GigaLinks, que operarán a la velocidad OC-3 (155.52 Mbps) y múltiplos de esa velocidad, hasta OC-24 (1.2 Gbps)

Cada satélite de la constelación es el equivalente a un nodo de una red de conmutación de paquetes de alta velocidad, y tiene enlaces (comunicación inter-satélite), con ocho satélites adyacentes. Cada satélite está enlazado con cuatro

satélites dentro del mismo plano (dos delante y dos detrás), y uno en cada uno de los planos adyacentes en ambos lados. Este tipo de interconexión forma un mallado no jerárquico y proporciona una robusta configuración de red que tolera errores y congestiones locales. La red combina las ventajas de una red de conmutación de circuitos (bajos retardos mediante "caminos digitales") y de una red de conmutación de paquetes (manejo eficiente de la multi-velocidad y de las ráfagas de datos)

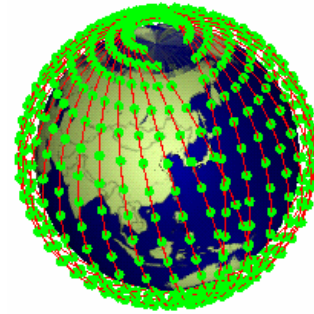


Fig. 7 Sistema Teledesic

Esta capacidad de manejo de múltiples velocidades de transmisión, junto con la compatibilidad con protocolos estándares y prioridades de servicio, proporciona la flexibilidad para soportar un amplio rango de aplicaciones, de las que se pueden enumerar algunas:

- Dar soporte a Internet e intranets corporativas.
- Comunicación multimedia.
- Interconexión de LANs.
- Wireless backhaul¹².
- Dar soporte a compañías telefónicas desviando el tráfico de comunicaciones de voz.

♣ SkyBridge

El segmento espacial de *SkyBridge* consiste en dos constelaciones de 32 satélites, transmitiendo cada uno unos 2.500W de potencia, con un peso estimado de 800kg y una vida útil de 8 años. En una primera fase estará disponible una de las constelaciones, 32 satélites, y más tarde se dispondrá de los 64 satélites en conjunto. Se situarán en una órbita de 1.457 kilómetros, cubriéndose las latitudes entre los +68° y los -68°, con lo cual no se dispondrá de servicio en las zonas polares. Cada satélite cubrirá un área de unos 3.000 kilómetros, con un máximo de 45 haces distintos iluminando dicho área, lo que permite reutilización de

¹² Medio de transporte inalámbrico.

frecuencias. Cada haz se corresponde con una estación pasarela terrena que abarca unos 350 Km. El método de acceso se hará por múltiplex en casi todo: *FDMA*, *TDMA*, *FDMA* y *WDMA*. Los satélites operan en la banda Ku, lo cual tiene ventajas y desventajas.[3]-[4]

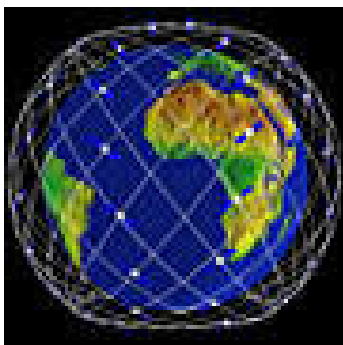


Fig. 8 Sistema SkyBridge

Como ventajas se pueden citar que los satélites son más baratos por dos causas, no necesitan transmitir potencias elevadas por haber menor atenuación en esta banda, y por existir un mayor desarrollo de la tecnología necesaria para los satélites (muchos satélites *GEO* existentes operan en banda Ku) y para los terminales de usuario.

Las desventajas son dos, al trabajar en una frecuencia inferior se dispone menor ancho de banda, y se producen interferencias con los satélites *GEO*, ya que trabajan en la misma banda. Esto se soluciona definiendo una zona cerca del ecuador (10°) donde los satélites no operan, las estaciones acuden a otro satélite visible fuera de ese área, eliminándose así posibles interferencias.

Los satélites no disponen de enlaces entre ellos, por lo que actúan como simples repetidores entre terminales de usuario y estaciones base. Esto supone una menor capacidad del sistema si lo comparamos con *Teledesic* o *Celestri*.

Los servicios, al igual que *Teledesic* son de transporte de datos de gran ancho de banda, con un coste razonable y un retardo mínimo, aunque en este caso sea a priori ligeramente superior al de los otros. El enlace entre usuarios y sistema es asimétrico, disponiéndose desde 6kbps hasta 60Mbps en el enlace descendente y desde 16kbps hasta 2Mbps en el ascendente. Este modo de conexión está optimizado para conexiones tipo Internet, pudiéndose asignar ancho de banda bajo demanda en tramos de 16kbps.

Las principales cualidades del sistema son su bajo coste, hablando en términos relativos, y su fiabilidad, ya que emplea tecnología conocida (banda Ku) y las funciones más importantes se realizan en tierra. Ante cualquier eventualidad se puede responder mejor si el equipo defectuoso se encuentra accesible.

♣ Otros sistemas de banda ancha

Existen en la actualidad otras propuestas similares a SkyBridge:[5]

- Sistema *NGSO FSS*¹³, de Boeing.
- Hughes Link
- Hughes Net
- Sistema *Virgo*, propuesto por *Ellipso*.

Finalmente, hay una serie de propuestas para utilizar bandas muy elevadas (banda V para el enlace ascendente -50 GHz- o banda Q para el enlace descendente -40 GHz-). Sin embargo, las posibilidades de uso de estas bandas no parecen demasiado atractivas, tanto por los problemas tecnológicos como por los relacionados con la atenuación debida a la lluvia¹⁴ que en esas frecuencias es muy elevada.

S-UMTS

El sistema *UMTS* evoluciona para integrar todos los servicios ofrecidos por las distintas tecnologías y redes actuales (*GSM*, *DECT*, *RDSI*, Internet...) y se podrá utilizar con casi cualquier tipo de terminal (teléfono fijo, inalámbrico, celular, terminal multimedia...), tanto en ambientes profesionales como domésticos, ofreciendo una mayor calidad de los servicios y soportando la personalización por parte del usuario y los servicios multimedia móviles en tiempo real [5]-[15]

La investigación europea en las telecomunicaciones ha colocado el satélite como un elemento más del sistema *UMTS*, quizá no el más urgente. Esto es probablemente la causa de que la contribución europea se haya centrado más en la definición de arquitecturas. Para enfatizar esa complementariedad de la componente satélite, se ha adoptado el acrónimo *S-UMTS* (*Satellite-UMTS*) para referirse a los sistemas por satélite integrados (o compatibles a algún nivel) con las redes *UMTS*.

La Agencia Espacial Europea (ESA) [16] es el organismo europeo más importante que define y lleva a cabo la investigación europea en actividades relacionadas con el espacio. Si bien la ESA potencia la innovación en múltiples campos relacionados con la actividad espacial, a continuación se van a destacar

¹³ Servicios de satélites fijos no estacionarios.

¹⁴ La lluvia es una problemática en las comunicaciones por satélite, ya que actúa como una cortina entre la antena terrestre y el satélite. Tanto en el enlace ascendente como en el descendente, aparece el problema de la atenuación debida a la absorción de energía de las ondas electromagnéticas por parte de las gotas de agua.

sólo las líneas de actuación más relevantes para las comunicaciones móviles por satélite *S-UMTS*.

Esas líneas son el programa *ARTE3* y el programa *ASTE*. Se menciona adicionalmente el programa *EGNOS* de posicionamiento por satélite (similar al *GPS* americano o al *Glonass* ruso) por su importancia en la utilización del *S-UMTS* para servicios complementarios de comunicaciones-posicionamiento.

El programa *ARTE3* es un marco de desarrollo de proyectos en comunicaciones por satélite, que sigue un esquema cooperativo entre la ESA, la CE, las Agencias Nacionales y la industria. El objetivo es aunar esfuerzos en el ámbito europeo en tres líneas principales, desarrollo de aplicaciones para comunicaciones multimedia por satélite, desarrollo de elementos para los sistemas de comunicaciones por satélite y sistemas avanzados para garantizar la competitividad a medio y largo plazo

El programa *ASTE* (Advanced Systems and Telecommunications Equipment, Sistemas avanzados y equipos de Telecomunicaciones) es el principal programa de la ESA para I+D preparatorio en sistemas de telecomunicación por satélite y está incluido dentro del marco más amplio del programa *ARTE3*. *ASTE* se dirige a los desarrollos preliminares de tecnologías prometedoras, una vez que éstas han sido identificadas como merecedoras de atención. A través de este programa, la ESA patrocina el desarrollo de estas tecnologías hasta el momento en que su madurez permite que la iniciativa privada tome el relevo de financiación y su explotación comercial.

Respecto al programa *EGNOS*, Europa ha decidido colaborar en el desarrollo de un sistema de posicionamiento global denominado *GNSS* (Global Positioning and Navigation Satellite System). Así, se han iniciado dos fases (*GNSS-1* y *GNSS-2*). *GNSS-1* aumentará el uso de las señales de posicionamiento existentes (*GPS*, *Glonass*) para aplicaciones aeronáuticas, siendo el *EGNOS* la componente europea del *GNSS-1*. Para la segunda fase, *GNSS-2*, se piensa en la utilización de una nueva constelación de satélites, bajo control civil, a la cual la ESA aportará el *GalileoSat*.

Alternativas a los sistemas de satélites

Además de las soluciones por satélite, se han propuesto un conjunto de soluciones para lograr aumentar la cobertura de los sistemas 2G y 3G. Estas soluciones tienen en común la utilización de plataformas elevadas con el fin de mejorar la cobertura.

En muchos casos las propuestas incluyen sistemas completos y son más bien soluciones de despliegue para sistemas tipo *I.MDS*, es decir sistemas de comunicaciones vía radio, para usuarios fijos. Sin

embargo también pueden utilizarse para comunicaciones móviles.

♣ Sistema Skystation

La propuesta de *Skystation* [17] es utilizar globos dirigibles no tripulados a gran altura (21.000 m) con una carga útil de 1.000 Kg, haciendo uso de la banda de 47 GHz para proporcionar servicios de elevada tasa binaria (2 Mbit/s enlaces tipo El o TI) a usuarios residenciales.



Fig. 9 Dirigible Skystation

♣ Sistema de planeadores

Una de las propuestas que tiene mejores valedores es la propuesta Helios precedida por los sistemas *Pathfinder* y *Centurion* (propuesta de NASA ERAST). El objetivo de estos proyectos es desarrollar aviones con capacidad de almacenamiento de energía solar para sus motores de muy bajo consumo. Los aviones podrían volar a 15-20.000 m, por encima de las zonas de vuelo comerciales, y desde ellos se puede iluminar una zona de 500 Km de diámetro. El verdadero problema de estos proyectos es el desarrollo de las células de almacenamiento de energía.[5]

Los sistemas tienen una carga útil del orden de 100 kg. Y pueden utilizarse como base para comunicaciones.

Otro proyecto similar es *Heliplat* [18], propuesta del Politécnico de Turín, consistente en una plataforma alimentada por energía solar, con una carga útil de 100 Kg y una potencia de 100 W.

El sistema se asemeja a un avión ligero alimentado con energía solar. La gran ventaja de estos sistemas es que con un número reducido de estas plataformas pueden cubrirse zonas muy amplias a coste bajo.

Conclusiones

Las comunicaciones móviles por satélite, a pesar de haber sufrido en la última década un tremendo auge, se han visto ralentizadas en su desarrollo por diversos factores. Desde el tamaño de los terminales, el

hecho de que no fueran operativos en el interior de edificios, los precios de las llamadas, fallos en la comercialización... las razones han sido muy variadas.

Muchos sistemas han generado una serie de expectativas a las cuales no han sabido responder a la hora de su lanzamiento. Las soluciones aportadas por sistemas satelitales no han resultado ser tan eficientes, siendo muchos servicios asociados a los satélites realizables mediante otro tipo de aplicaciones tecnológicamente factibles.

Resulta difícil explicarse como algunos sistemas antes de comenzar ha explotarse han sido rechazados tras haberse invertido cantidades ingentes de dinero y tiempo. Ciertamente el mercado ha cambiado, el auge de Internet ha reducido las necesidades de las llamadas de voz a larga distancia a lugares difíciles. El sistema era demasiado complicado, con procesado a bordo, de forma que los satélites resultan caros y difíciles de mantener. Este tipo de sistemas no podía resistir unos costes de capital demasiado elevados.

Un hecho de gran importancia en el desarrollo de la tecnología del satélite fue el fracaso del primero de los sistemas, Iridium, el más caro e innovador proyectado como un sistema ambicioso al querer introducirse en un mercado de difícil penetración. La consecuencia de este fracaso ha implicado un sentimiento de desconfianza hacia los posteriores proyectos basados en la componente satelital. Esto puede hacerse notar en el nuevo y ambicioso proyecto del sistema *UMTS*, que cuenta entre sus proyectos con el uso del satélite como soporte para la comunicación. En cambio, a favor de este nuevo sistema, se puede destacar que será capaz de ofrecer servicios innovadores sin necesidad del uso del satélite.

Referencias

- [1] <http://www.sateliteinfos.com>
- [2] <http://mipagina.cantv.net/dolmary/Pagina/Trabajo1.htm>
- [3] <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Hangar/7736>
- [4] <http://www.skybridgesatellite.com>
- [5] Comunicaciones móviles de tercera generación UMTS Tomo I / Cayetano Lluch Mesquida; José M. Hernando Rábanos.
- [6] <http://www.intelsat.int/intelsat>
- [7] Sistemas del servicio móvil por satélite/ Juan Rubio
- [8] <http://www.inmarsat.org>
- [9] <http://www.iridium.com>
- [10] <http://www.i-co.co.uk>
- [11] <http://www.globalstar.com>
- [12] <http://www.qualcomm.com/globalstar/sp/advantages/index.htm>
- [13] <http://www.ellipso.com>
- [14] <http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/telecom3/ellipso/satelites.htm>
- [15] <http://www.tid.es/presencia/publicaciones/index.html>
- [16] <http://www.esa.com/>
- [17] <http://www.skystation.com/>
- [18] <http://www1.tlc.polito.it/heliplat/haleweb.html>