

Comunicaciones Espaciales

Introducción

Fernando D. Quesada Pereira¹

¹Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena

14 de octubre de 2010



Índice de Contenidos

- 1 Motivación de las comunicaciones por satélite
- 2 Historia de las comunicaciones por satélite
- 3 Elementos de un sistema de comunicaciones espaciales
- 4 Tipos de Órbitas
- 5 Principales aplicaciones de las comunicaciones por satélites
- 6 Intelsat
- 7 Agencia Espacial Europea(ESA)
- 8 Tendencias futuras de las comunicaciones por satélite
- 9 Bibliografía complementaria y webs de interés



Características de las comunicaciones por satélite

- Coste independiente de la distancia
- Capacidad de establecer **enlaces multipunto**
- **Ancho de banda** considerable
- Amplia **cobertura** geográfica
- No le afectan las barreras naturales
- Servicio de zonas rurales o **poco pobladas**
- Facilidad para establecer **nuevos mercados**
- Facilidad de establecer **nuevos servicios**



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Pioneros (I)

- (1232) Los chinos construyen los primeros cohetes.



- (1903) Un profesor de escuela ruso, **Konstantin Tsiolkovsky**, publica las primeras ideas sobre vuelo espacial.
- (1923) **Hermann J. Oberth** propuso el uso de satélites para comunicación.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Pioneros (II)

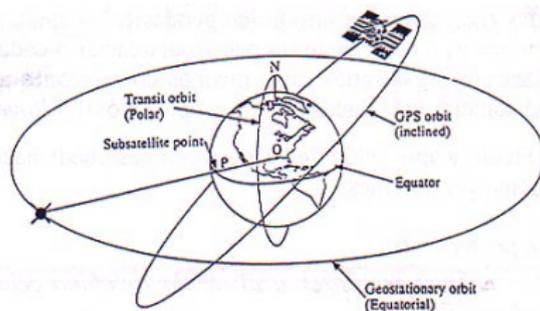
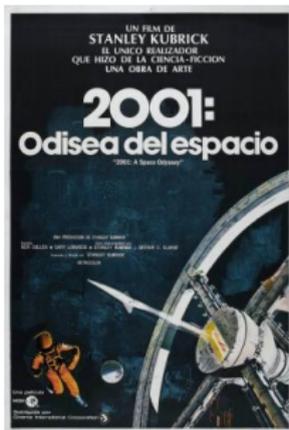
- (1926) Primer cohete con propelente líquido lanzado en EEUU por R. H. Goddard.
- (1942) Se lanza el primer cohete V-2 en Alemania en plena guerra mundial.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Pioneros (III)

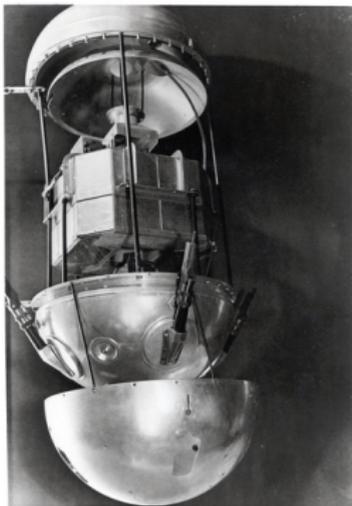
- (1945) **Arthur C. Clarke** (2001, una odisea del espacio), propone la utilización de **satélites geostacionarios** como repetidores para comunicaciones globales en un artículo de la revista *Wireless World*: *Extra-Terrestrial Relays; Can Rocket Stations Give World-Wide Radio Coverage?*.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Primeros satélites (I)

- (1957) Lanzamiento del **Sputnik I**, primer satélite artificial, el 4 de octubre, y comienzo de la carrera espacial.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Primeros satélites (II)

- (1958) Lanzamiento del Primer satélite de comunicaciones estadounidense (Explorer I), el 1 de febrero (descubrió los anillos de Van Allen). Lanzamiento del **SCORE** (Signal Communications Orbit Relay Equipment), primer satélite de comunicaciones, el 18 de diciembre, retransmitió un mensaje de navidad del presidente Eisenhower.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Primeros satélites (III)

- (1960) Lanzamiento de Echo I, globo pasivo de la NASA.
- (1960) Satélite Courier 1B del ejercito americano.
- (1961) Oscar I, primer satélite de radio amateur.
- (1962) **Telstar I**, primer satélite privado y diseñado para transmitir telefonía y datos a alta velocidad. Transmitió las primeras imágenes de televisión.
- (1964) Syscom 3, Primer satélite geostacionario.
- (1965) Molniya I, cobertura en zonas polares.
- (1965) **Early Bird/INTELSAT-1**, primer GEO comercial.



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Evolución hasta la actualidad (I)

- (1972) Se constituye el primer sistema local de satélites en Canada (ANIK). Asimismo, se crea **INTER-SPUTNIK** para dar servicio a los antiguos países del bloque soviético, (actualmente forman parte 25 países).
- (1975) Primer experimento con éxito de difusión directa(EEUU-India).
- (1977) Se asigna un plan de frecuencias por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) para la difusión directa al hogar por satélite (regiones 1 y 3, el mundo salvo américa)
- (1979) Se crea la organización **INMARSAT** que presta servicios de socorro y seguridad marítima o aeronáutica por satélite.
- (1981) Primer vuelo de un vehículo reutilizable (**American Space Shuttle**).



Cronología de las comunicaciones por Satélite

Evolución hasta la actualidad (II)

- (1982) Primeras comunicaciones marítimas operativas.
- (1983) El plan de la ITU para la difusión directa se extiende a la región 2.
- (1984) Primer sistema de **difusión directa al hogar** operativo en Japón.
- (1987) Se realizan pruebas con éxito del servicio de INMARSAT aplicado a comunicaciones móviles en tierra.
- (1989,90) El sistema de INMARSAT se hace operativo para comunicaciones móviles terrestres y aeronáuticas.

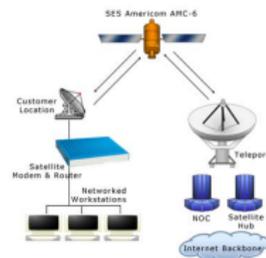


Cronología de las comunicaciones por Satélite

Evolución hasta la actualidad (III)

● (1990 a 92)

- Varias organizaciones y empresas proponen el uso de órbitas no geoestacionarias para aplicaciones de comunicaciones móviles por satélite.
- Existen planes para desarrollar terminales manuales de telefonía por satélite para el año 2000.
- Continúa el desarrollo de las redes privadas **VSAT**.
- Continúa el crecimiento de la difusión directa en Asia y Europa.



● (1995)

- Crecimiento más grande en un sólo año de los sistemas VSAT.
- Se reserva espectro para los sistemas no-geoestacionarios.
- Se realizan las primeras pruebas de un satélites de datos con baja tasa de transferencia en órbita LEO (**ORBCOM**).



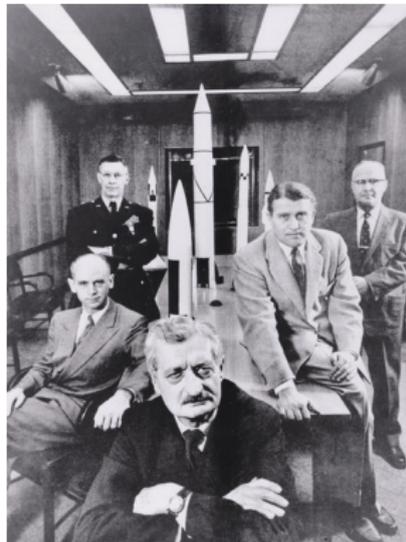
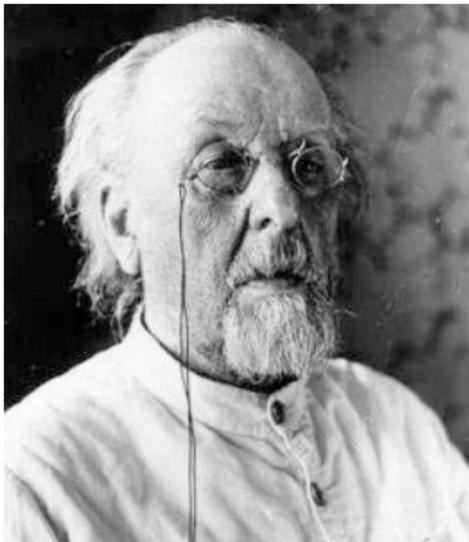
Cronología de las comunicaciones por Satélite

Evolución hasta la actualidad (IV)

- (1997)
 - Primer grupo de satélites para proporcionar telefonía móvil por satélite con terminales manuales (Iridium).
 - Servicios de voz para terminales de tamaño de sobremesa proporcionado por INMARSAT.
 - Varios servicios de banda ancha FSS para comunicaciones personales propuestos por **IRIDIUM**.
- (1998) Se introducen los servicios con terminales manuales mediante satélites en constelación de órbita baja.
- (1999,2000) Servicios de difusión directa de sonido.
- (2000 a 2010)
 - Comunicaciones personales en banda ancha.
 - La **basura espacial** se hace importante.
 - Aumentan los servicios en **banda K_a** .
 - Se hacen operativos distintos sistemas de constelaciones de satélites en órbita baja (LEO) y media (MEO).
 - Diseño y prueba del sistema europeo **Galileo** de Radionavegación.



Pioneros de las comunicaciones por satélite

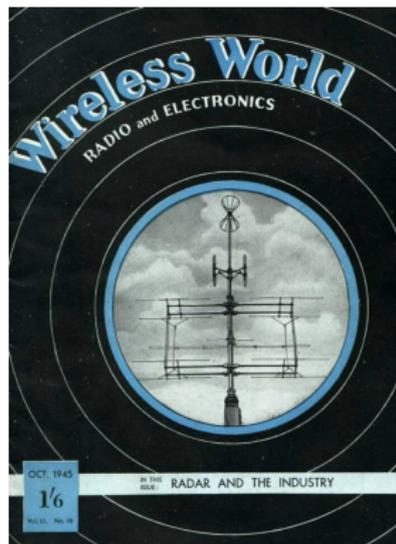
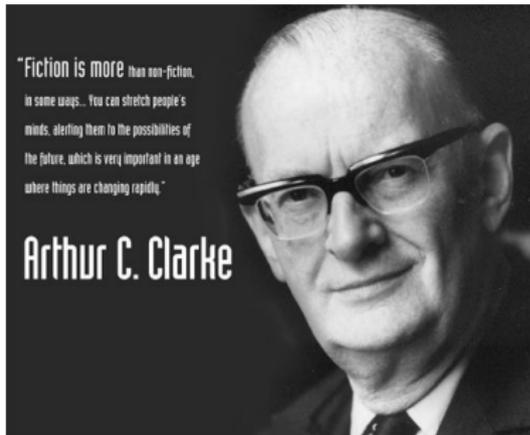


Tsiolkovsky (Rusia, 1857 a 1935) y Oberth (Rumanía, 1894 a 1989)
propulsores de las primeras ideas de vuelos espaciales.



Pioneros de las comunicaciones por satélite

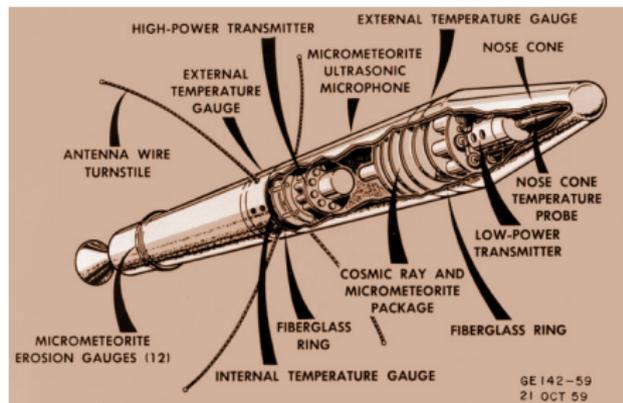
Propulsor de la idea de satélites geoestacionarios



Arthur C. Clarke (1917-2008) propuso la idea de utilizar satélites geoestacionarios para comunicaciones.



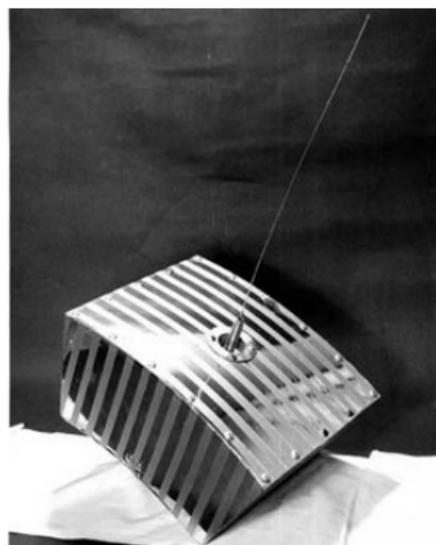
Primeros satélites artificiales



Satélites Sputnik I (Unión Soviética, 1957) y Explorer I (EEUU, 1958)
comienzo de la carrera espacial.



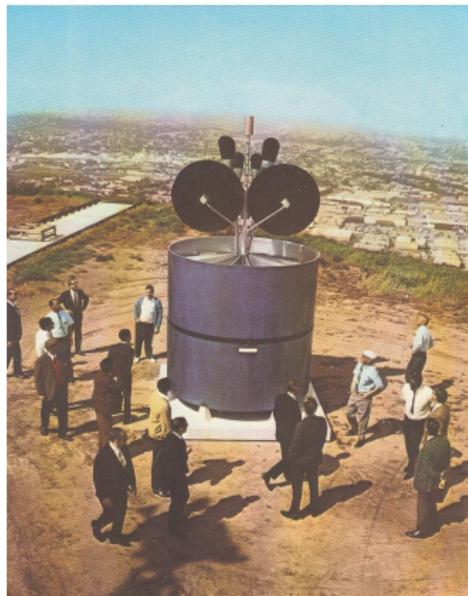
Primeros satélites artificiales



Satélite pasivo ECHO I y satélite de radio amateur OSCAR I.



Primeros satélites artificiales

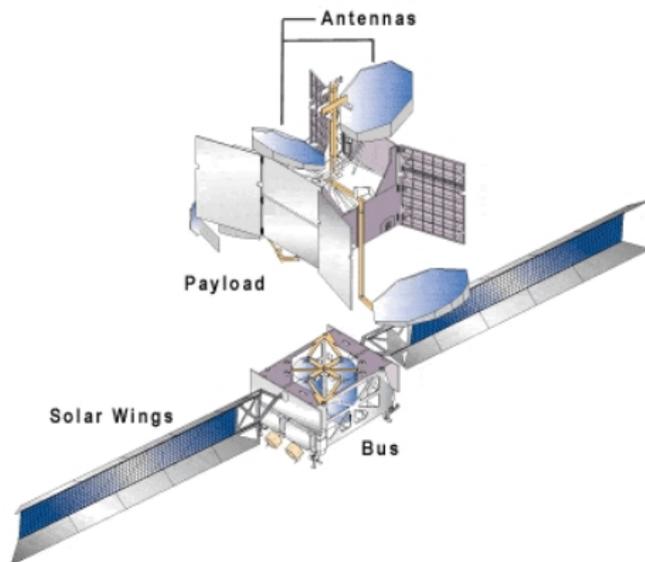


Comparativa de los primeros satélites e INTELSAT IV.

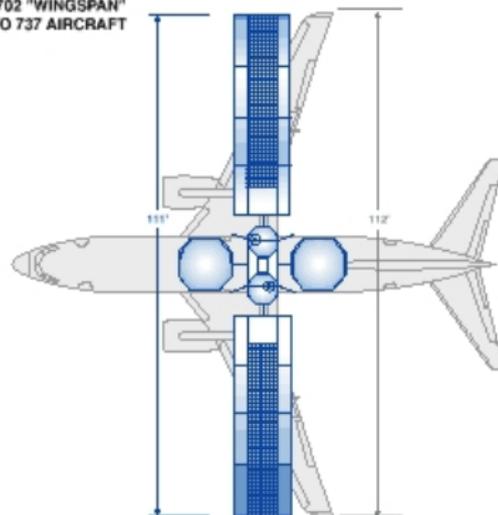


Tamaño actual de los satélites de comunicaciones

Boeing 702 Expanded View



HUGHES HS 702 "WINGSPAN" COMPARED TO 737 AIRCRAFT



El tamaño de los satélites de comunicaciones ha ido aumentando progresivamente hasta alcanzar una envergadura considerable.



Configuración de un sistema de comunicaciones espaciales

Segmento Espacial Se encuentra formado por uno o varios satélites activos o de reserva que forman una constelación. Se divide en:

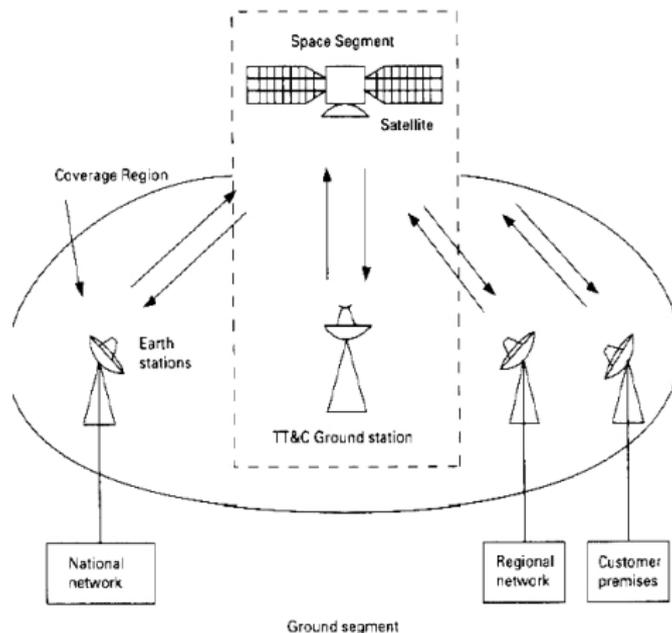
- **Plataforma o bus**: con sus subsistemas térmico, estructural, de potencia, etc...
- **Carga útil o payload**: repetidor RF estructurado en transpondedores (amplifican y convierten en frecuencia)

Segmento de Control Consiste en todas las instalaciones terrenas que se encargan de la monitorización de los satélites, además la gestión del tráfico y recursos del satélite. A las estaciones del segmento de control también se les suele denominar **TTC (seguimiento (tracking), telemetría (telemetry), comando(command))**.

Segmento Terrestre Está constituido por las estaciones terrestres de tráfico (usuarios). El tamaño de las anteriores estaciones depende del tipo de servicio.



Representación de los segmentos de sistema de comunicaciones espaciales

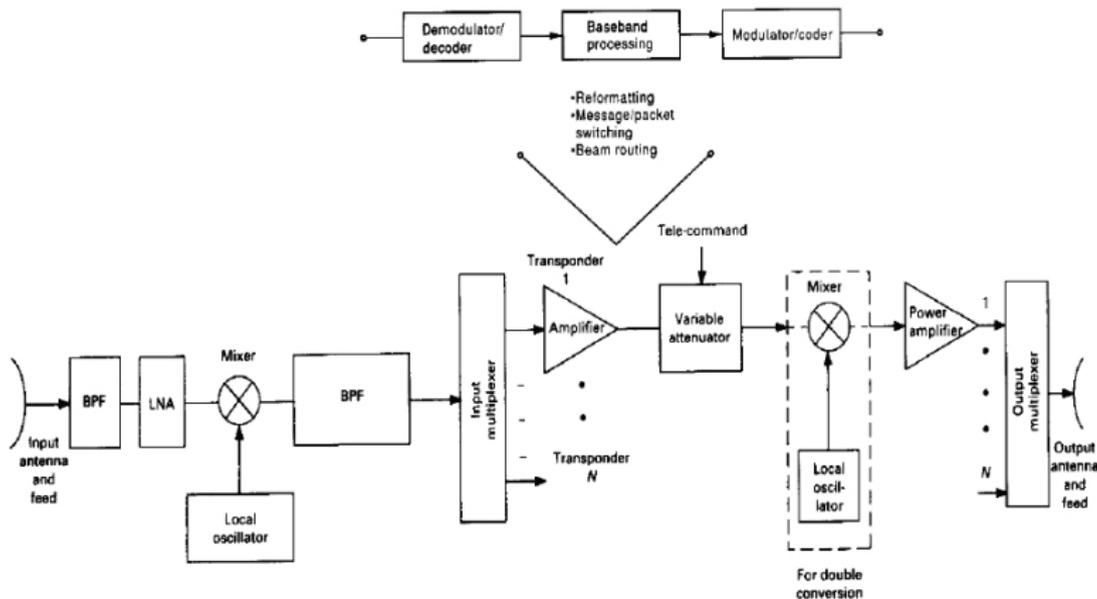


[Ref.-Richharia, 1999]



Carga útil o payload

Subsistema de comunicaciones a bordo del satélite



[Ref.-Richharia, 1999]



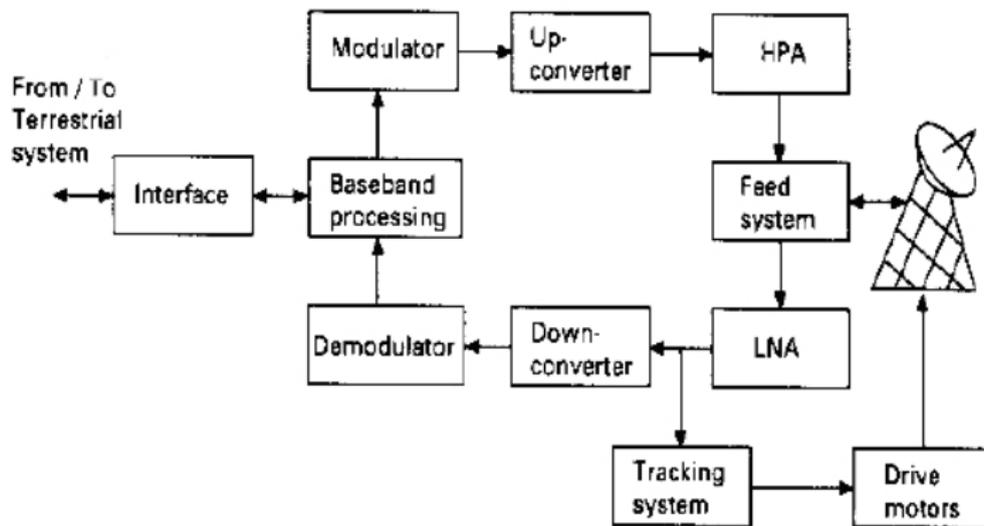
Características del módulo de comunicaciones

- La función fundamental es amplificar y cambiar la frecuencia de la señal.
- La conversión de frecuencia puede ser de una o varias etapas.
- El repetidor es **regenerativo o transparente** según se procese o no la señal en banda base.
- División en subbandas como canales con amplificación independiente y controlada (**TRANSPONEDORES**).
- Para ahorrar energía los amplificadores de potencia trabajan en zona no lineal. Esto produce problemas de intermodulación.
- Para elevadas potencias problemas de **ruptura** (Multipactor y Corona), e **intermodulación pasiva** (PIM).



Configuración de una estación terrena típica

Earth Stations



[Ref.-Richharia, 1999]



Características de las estaciones terrenas

- La señal (propia o procedente de una red de comunicaciones) es procesada en banda base y modulada. Ésta puede combinarse con otras.
- El alimentador de antena proporciona **polarización adecuada** y aislamiento con la señal recibida.
- Se requiere un **amplificador de bajo ruido (LNA)** en recepción.
- Si es una estación de control, las señales de TTC son extraídas y utilizadas
- El esquema básico puede variar según el caso.

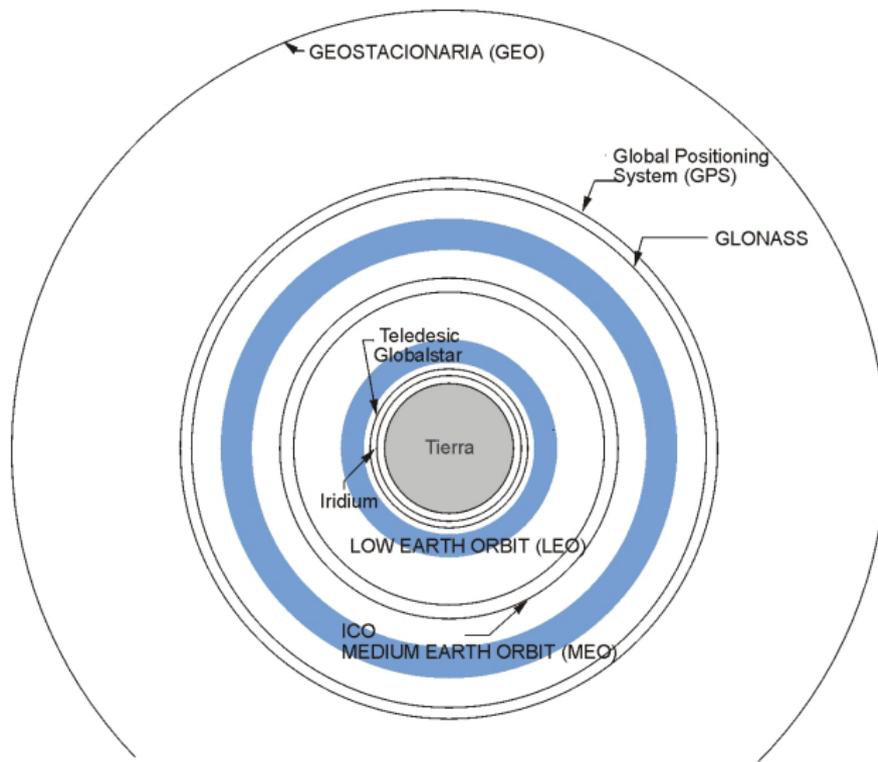


Tipos de órbitas usuales

- GEO (Geoestacionaria)** Geosíncrona a 35786 Km de altitud(3 satélites cobertura global, Sistemas DBS de televisión).
- ICO (Intermediate Circular Orbit) o MEO (Medium Earth Orbit)** Entre 14000 Km y 26000 Km (12 satélites para cobertura global, GPS, Galileo).
- LEO (Low Earth Orbit)** Altura menor a 1000 Km, interesantes para comunicaciones móviles (IRIDIUM) (60 a 90 satélites cobertura global).
- HEO (Highly Eccentric Orbit)** Órbitas muy excéntricas, inclinadas normalmente $63,4^\circ$ o $116,6^\circ$ (perigeo a 548 Km y apogeo a 39957 km). Se da cobertura a zonas de latitud alta, como la antigua Unión Soviética, con tres satélites.

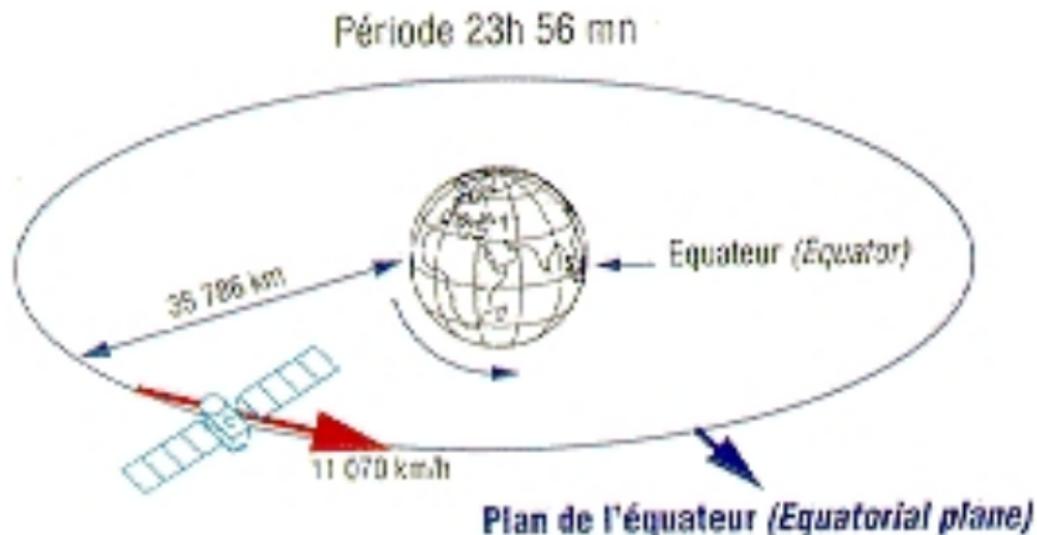


Situación de las principales órbitas usadas



Tipos de órbitas usuales

Órbita geoestacionaria

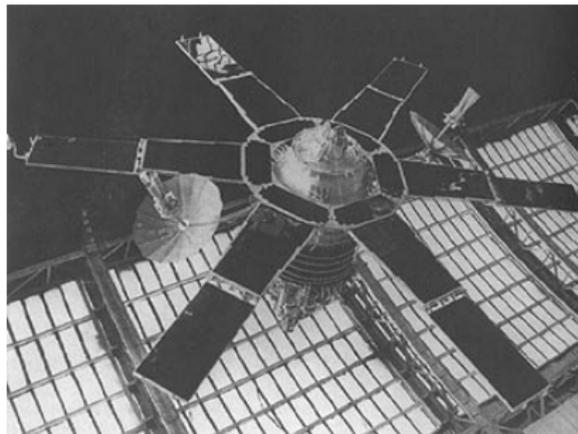
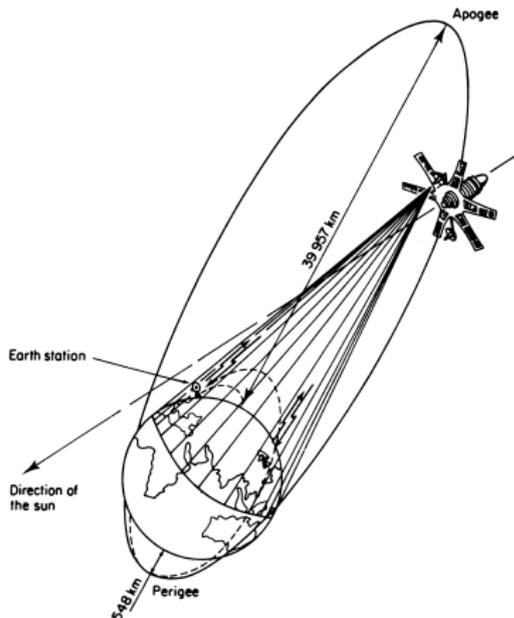


Representación de un satélite en órbita geoestacionaria



Tipos de órbitas usuales

Órbita HEO (Molniya)

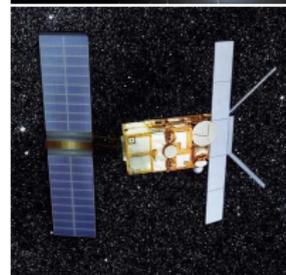
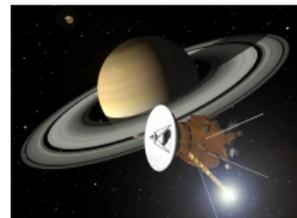


Satélite Molniya en órbita HEO (cobertura Unión Soviética).



Usos más representativos de los satélites(I)

- **Telefonía**, datos, y vídeo intercontinental
 - Enlaces punto a punto
 - Establecimiento de satélites GEO por parte INTELSAT para la difusión de televisión.
 - Complemento a líneas submarinas de fibra óptica.
- **Investigación** científica
 - Se utilizan para estudiar la Tierra y el espacio exterior. Ejemplos: Sondas **Cassini**, Galileo y Mars Odyssey, o el telescopio Hubble.
- **Teledetección** (fotografía espacial)
 - Satélites militares espía.
 - Se utilizan sensores ópticos o térmicos en banda de microondas (imagen de RADAR). Como ejemplos los satélites meteorológicos (METEOSAT) o el **ERS de teledetección de la ESA**.



Usos más representativos de los satélites(II)

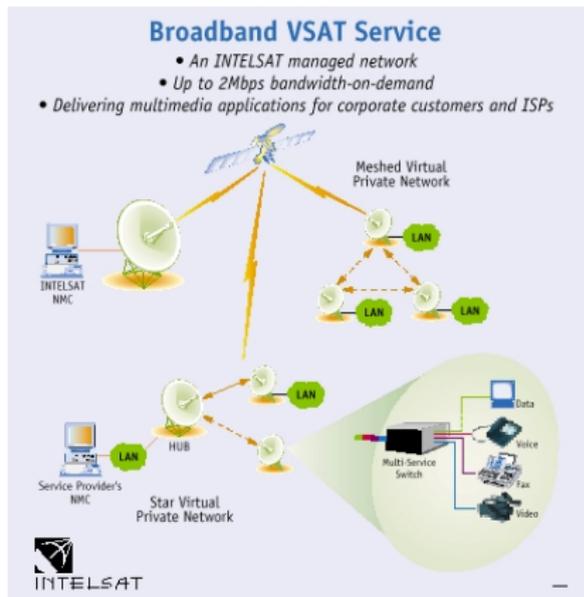
Aplicaciones de las comunicaciones espaciales

- ☞ Redes privadas multipunto (**VSATs**)
 - ☞ Son utilizadas por negocios para agilizar las **transacciones comerciales**.
 - ☞ Se utilizan **antenas muy pequeñas** (Very Small Aperture Terminals).
- ☞ **Comunicaciones estratégicas** militares
- ☞ **Servicios de Inteligencia** y Guerra electrónica
- ☞ **Radionavegación** y Posicionamiento por satélite (GPS, GALILEO, GLO-NASS)
- ☞ Difusión directa al hogar de **TV** (DBS como ASTRA o Hispasat)
- ☞ **Telefonía móvil** por satélite (Iridium/ICO/Globalstar)
- ☞ Redes troncales de datos para **Internet**



Redes VSAT (Very Small Aperture Terminal)

- Las redes privadas VSAT reemplazan a líneas terrestres o alquiladas.
- Las conexiones ofrecen tasas de transferencia de 64 Kbps a 2Mbps.
- La mayoría de los sistemas operan en banda Ku, con **antenas terrestres de 1m a 2m** que emiten con 1 o 2 Watios.
- La topología suele ser en **estrella**, conectándose las estaciones terrenas con un *hub* a través de un satélite GEO.



Servicio de Red VSAT
proporcionado por INTELSAT



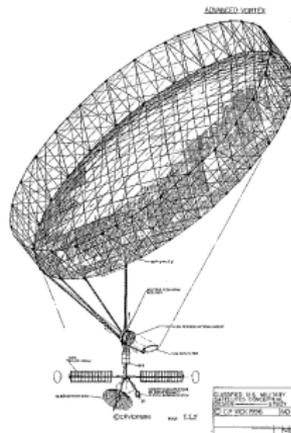
Comunicaciones Estratégicas

- ✓ Estratégicas (militares o gubernamentales, sistemas nucleares) al comienzo se empleaban telefonía convencional o HF (High Frequency).
- ✓ Los Satélites ofrecen **más seguridad** y mayores tasas binarias de transferencia.
- ✓ Se han desarrollado **sistemas antimisil** (guerra de las galaxias).
- ✓ Se suelen emplear **frecuencias altas**.
- ✓ Incluyen sistemas de detección de misiles y explosiones nucleares.



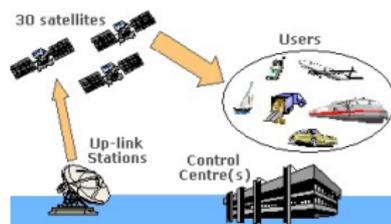
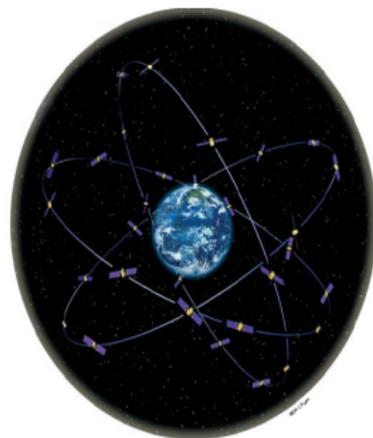
Inteligencia espacial y guerra electrónica

- Desarrollados a principios de los 60.
- **Satélites espía** que interceptan comunicaciones y señales radar.
- **Antenas inflables** de más de 100 m en órbita para escuchar las señales más débiles.
- Otros sistemas permiten hacer **seguimiento de barcos y aviones** en base a sus transmisiones.
- **Red Echelon**. Se diseñó en la época de la guerra fría. Hoy se utiliza para desbaratar planes terroristas o de tráfico de drogas. Se piensa que también sirve para espionaje industrial.



Sistemas de Radionavegación y Posicionamiento por Satélite

- ➔ Sistemas estadounidense Global Positioning System (GPS, militar), Ruso GLONASS, Chino COMPASS y europeo GALILEO(civil, en fase de implantación, será operativo en 2013-14, se han lanzado los satélites Giove-A, B y A2).
- ➔ Constelación de satélites (24), **órbitas MEO**, enviando señales con una sincronización hiperprecisa. Con 4 satélites se determina la posición.
- ➔ Los usuarios se posicionan con terminales de sólo recepción.
- ➔ Se prevé un crecimiento enorme en este tipo de aplicaciones. Toda la **aviación civil** lo utilizará plenamente para 2013-14.



Direct Broadcast Satellite (DBS)

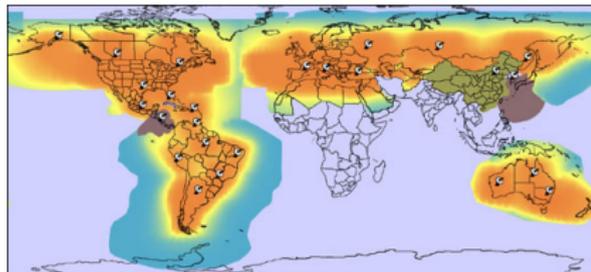
Características del DBS

- Difusión directa al usuario final.
- Entra en competencia con los distribuidores por cable (ONO, IMAGENIO, etc).
- Satélites operan con gran potencia desde GEO en **Bandas C, Ku y Ka**.
- Sector de negocio creciente.
- Astra, Eutelsat, Hispasat
- En España opera Canal Digital Plus que utiliza los satélites ASTRA e Hispasat.
- Lo más nuevo es difusión directa a **vehículos en movimiento**.



Telefonía móvil comercial por satélite

- Iridium , ICO (en órbita MEO), Globalstar.
- Sistemas basados en constelaciones (60-80) de satélites en **órbita baja (LEO)**.
- Proporcionan terminales portables.
- Pretenden dar cobertura global, incluyendo **zonas poco pobladas**.
- **Fracaso económico** hasta ahora al no poder competir con la telefonía móvil convencional. Terminales y llamadas muy caros (cada más competitivos).



Bandas de frecuencia usadas por satélites

Las bandas de frecuencia usadas por los satélites son:

L	Com. Móviles	1 - 2 GHz
S	TT&TC, Móviles	2 - 4 GHz
C	Com. Fijas, Radiodifusión	4 - 8 GHz
X	Militar	8 - 12 GHz
Ku	TV, Com. Fijas	12 - 18 GHz
Ka	TV, Com. Fijas, Data Relay	18 - 40 GHz

Para enlaces entre satélites, bandas U (40-50 GHz), V(50-75 GHz) y ópticas.

La clasificación de bandas de frecuencia de la ITU es:

Band	Downlink	Uplink	Bandwidth	Problems
L	1.5 GHz	1.6 GHz	15 MHz	Low bandwidth; crowded
S	1.9 GHz	2.2 GHz	70 MHz	Low bandwidth; crowded
C	4.0 GHz	6.0 GHz	500 MHz	Terrestrial interference
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Rain
Ka	20 GHz	30 GHz	3500 MHz	Rain, equipment cost



Modos de comunicación

- ✓ **Punto a punto** (Fijo FSS)
 - Tráfico de canales de voz o datos para operadoras de telecomunicaciones (enlaces).
 - Redes de datos privadas VSAT.
- ✓ **Multipunto a Multipunto** (servicios comunicaciones móviles por satélite MSS).
- ✓ **Punto a multipunto** (Difusión BSS)
 - Difusión de televisión y audio.
 - Difusión de servicios multimedia y de banda ancha(multicast).
- ✓ **Comunicación entre satélites** (Inter-Satellite Link ISL). Se realizan sin pasar por la atmósfera.

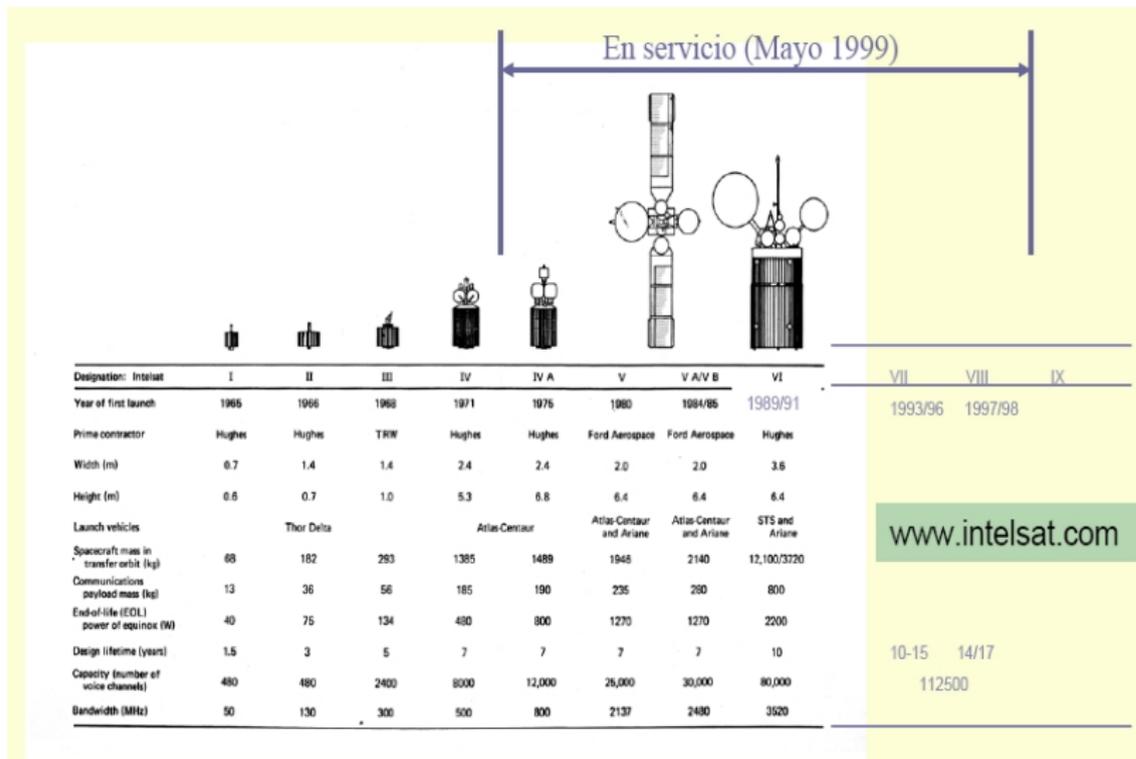


Consortio de explotación de satélites

- Se forma en 1965 con el lanzamiento de **Early Bird** o Intelsat I.
- Al comienzo formaban parte 12 países. En la actualidad son más de 140.
- En un principio se trataba una organización gubernamental, aunque en para poder competir en el mercado actual **se ha privatizado (2001)**.
- La **evolución tecnológica** de satélites INTELSAT va desde la I a la IX con un aumento progresivo del tamaño y las capacidades de comunicación.
- Se lanzan continuamente nuevos satélites. En 2007 operaban 51.



Evolución de los satélites de INTELSAT



www.intelsat.com



Agencia Espacial Europea (ESA)

Se creó en 1975 y agrupa actualmente a los siguientes países: Países Bajos, Bélgica, Reino Unido, Francia, Alemania, Italia, Dinamarca, España, Suecia, Suiza, Irlanda, Austria, Noruega, Finlandia y Portugal. El objetivo es promover entre países europeos la **colaboración con fines pacíficos** en:

- Tecnología e Investigación Espacial.
- Aplicaciones espaciales.

Los propósitos son científicos y de aplicaciones operativas elaborando e implementando:

- Una **política espacial europea** a largo plazo.
- Nuevas actividades y programas espaciales.
- Una política industrial.



Centro de la ESA (ESTEC) en Nordwijk (Países Bajos)



Tendencias futuras en las comunicaciones por Satélite.

El futuro de las comunicaciones por satélite

- En las aplicaciones de difusión se migra a los **contenidos digitales** con una menor distinción entre servicios (internet, video, audio...).
- La distinción entre tipos de servicio (difusión, móvil y fijo) también se desvanece.
- Los **terminales de usuario son más pequeños**: tanto móviles como reflectores de difusión (antenas parabólicas).
- Aumento de la **ubicuidad** con la posibilidad de comunicación global en cualquier lugar y cualquier momento (baza principal de las comunicaciones por satélite).



Bibliografía adicional

- **Satellite Communication Systems, Second Edition(1999)**, M.Richharia, Editorial Macmillan 1999.
- **Satellite Communications Systems Engineering**,W.L.Pritchard, J.L.Sciulli, Editorial Prentice Hall.
- **Satellite Communications, Fourth Edition (2006)**, D. Roddy, Editorial (Libro electrónico UPCT) McGraw Hill.
- **Principles of Communications Satellites, First Edition(1993)**, G.D.Gordon, W.L.Morgan, Editorial Wiley-Interscience.
- **Introduction to Satellite Communication, Second Edition (1999)**, B.R.Elbert, Editorial Artech House.
- **The Satellite Communications Applications Handbook, Second Edition 2003**, B.R.Elbert, Editorial Artech House.
- **Communication Satellite Handbook (1989)**,W.L.Morgan, G.D.Gordon, Editorial Wiley.
- **Digital Satellite Communications, Second Edition (1990)**, T.H.Ha, Editorial McGraw Hill.
- **Communication Satellites in the Geostationary Orbit (1987)**, D.M.Jansky, M.C.Jeruchim, Editorial Artech House.



Información en la red

- ✎ **INTELSAT** www.intelsat.com
- ✎ **INMARSAT** www.inmarsat.com
- ✎ **INTERSPUTNIK** www.intersputnik.com
- ✎ **IRIDIUM** www.iridium.com
- ✎ **GLOBALSTAR** www.globalstar.com
- ✎ **ICO** www.ico.com
- ✎ **GALILEO** http://ec.europa.eu/dgs/energy/_transport/galileo/index_en.htm
- ✎ **Agencia Espacial Europea** www.esa.int
- ✎ **Noticias relativas al espacio** www.spaceref.com, www.space.com





M. Richharia.

Satellite Communication Systems, Second Edition.

McGraw-Hill Telecommunications, 1999.

