

**Evolución de los Sistemas de Comunicaciones por Satélite**

D. Ramón Martínez Rodríguez-Osorio  
(Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones - UPM)

Jueves 22 enero 2015  
Salón de Actos, ETSIT  
12:30 horas

Organiza:  
Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones -  
-X Aniversario DTSTC-

ETSIT  
Digital Signal System  
de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones

ETSIT UPM

## Índice

- **Introducción**
- **El satélite de comunicaciones**
  - Plataforma
  - Carga útil
- **Antenas embarcadas en satélites de comunicaciones**
- **Tecnologías de comunicaciones**
  - DVB-S vs DVB-S2 vs DVB-S2 Extensions
  - Tecnologías Carrier-in-Carrier
  - Cargas útiles de comunicaciones
  - Nuevas arquitecturas de comunicaciones
- **Ejemplos de sistemas**

POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

2

ETSIT UPM **Comunicaciones por satélite. Servicios**

**Red de acceso (FSS)**

**Distribución (FSS)**

**DTH (BSS) (Direct-to-home)**

**Com. móvil (MSS) THURAYA**

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez 3

ETSIT UPM **Comunicaciones por satélite. Servicios**

**EDRS (European Data Relay Satellite)**

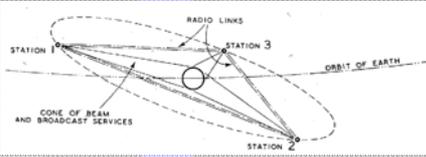
**Servicios ATM por satélite**

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez 4

**ETSIT UPM**

## Origen de las Comunicaciones por Satélite

- **Sir Arthur C. Clarke (1945)**
- **Describe el uso de la órbita geostacionaria para comunicaciones (actualmente la más usada por los satélites de comunicaciones)**
- **Describe la cobertura global usando 3 satélites a 120 grados (sistema TDRSS (USA))**





**EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS**  
*Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage?*  
 By ARTHUR C. CLARKE

ALTHOUGH it is possible, by a suitable choice of frequencies and routes, to provide telephony circuits between any two points or regions of the earth for a large part of the time, long-distance communication is greatly hampered by the peculiarities of the atmosphere, and there are even occasions when it may be impossible. A new broadcast service, giving constant and sufficient signal strength over the whole globe would be invaluable, not to any individual, but to a world society.

Unconsciously through the telephony and telegraph systems in that of television in far more, since telephonic transmissions cannot be employed at all. The service area of a television station, even on a very good site, is only about a hundred miles across. To cover a world country, such as Great Britain would require a network of stations, connected by VHF relay links. A recent theoretical study has shown that such a system would require systems of a network of fifty miles or less. A system of this kind could provide television coverage, at a very considerable cost, over the whole of a small country. It would be out of the question to provide a large country with such a network, and only the main centres of population could be included in the system.

The problem is equally serious when we consider the provision of television services in distant

the atmosphere and left to broadcast stations constructed high in the earth. A little later, manned rockets will be able to make similar flights with sufficient excess power to break the orbit and return to earth.

There are no infinite number of possible stable orbits, circular and elliptical, in which a rocket could remain if the initial conditions were correct. The velocity of 8 km/sec. applies only to the lower potential orbits just outside the atmosphere, and the period of revolution would be about 90 minutes. As the radius of the orbit increases the velocity decreases, since gravity is diminishing and less centrifugal force is needed to balance it. Fig. 1 shows this graphically. The mass of a rocket which would be on the curve of Fig. 1 if they were provided. The proposed German space-stations

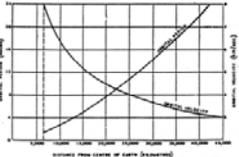


Fig. 1. Variation of orbital period and velocity with distance from the earth's surface.

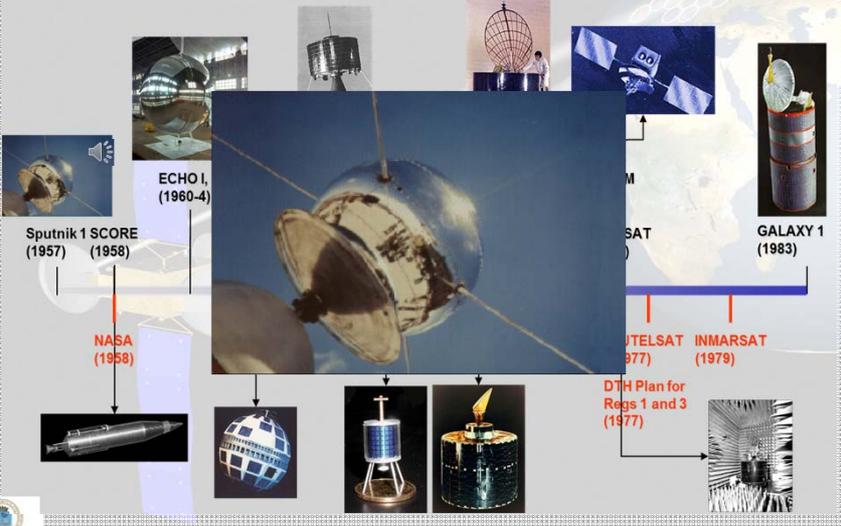
The German space-station rocket would have a period of about four and a half hours. It will be observed that one orbit, with a radius of 48,000 km. has a period of exactly 24 hours. A body in such an orbit, if its path coincided with that of the

5

**ETSIT UPM**

## Primeros pasos





6

ETSIT UPM

### Echo I y II (1960 y 1964)

[...] Echo 1 became the first successful launch of the project on Aug. 12, 1960. The balloon enabled voice communication of "good quality" between scientists at Bell Laboratories in Holmdel, New Jersey, and a NASA facility in Goldstone, California.



Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

7

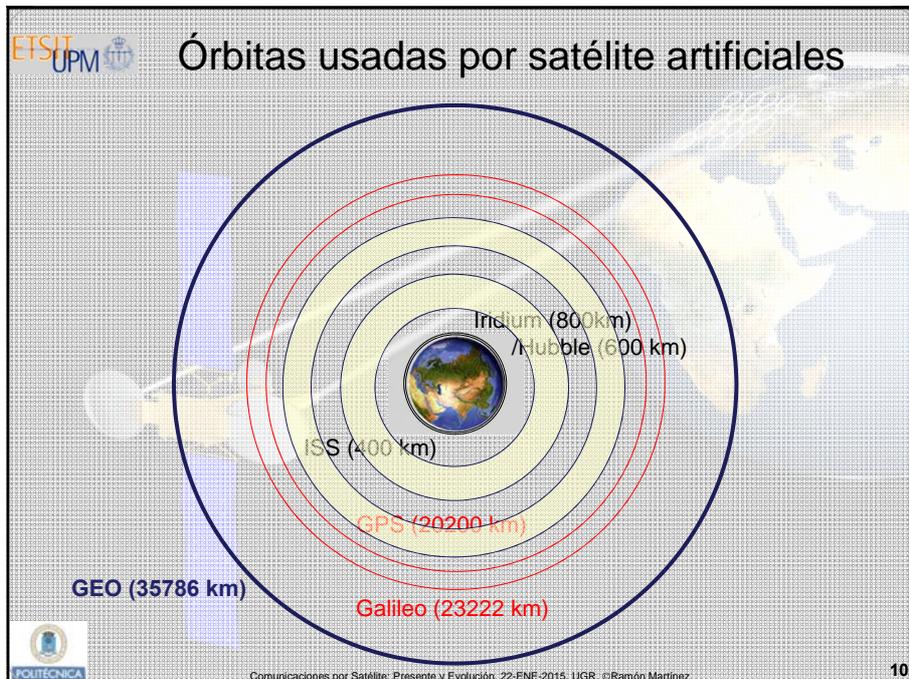
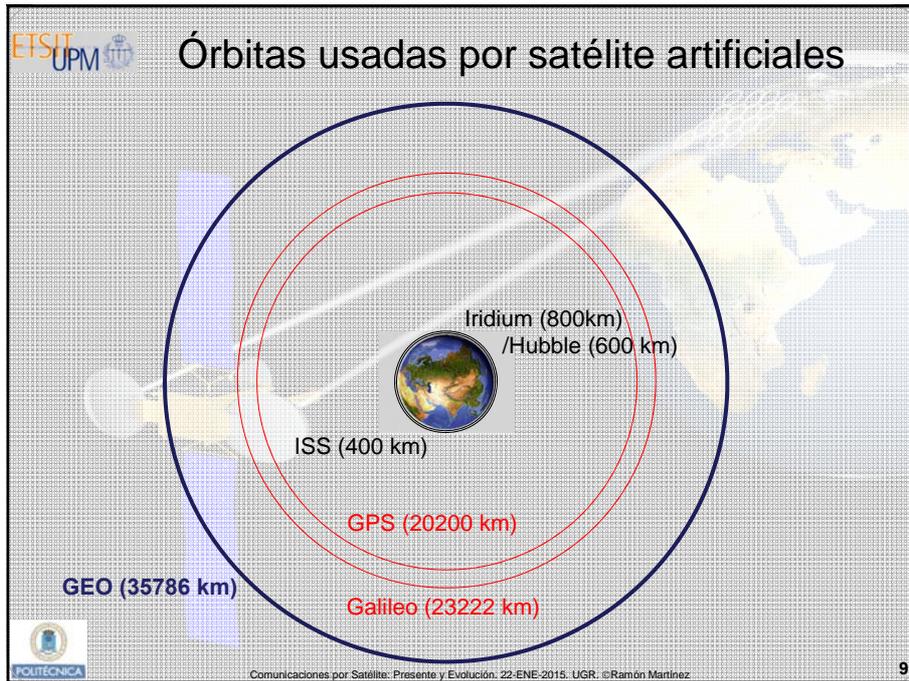
ETSIT UPM

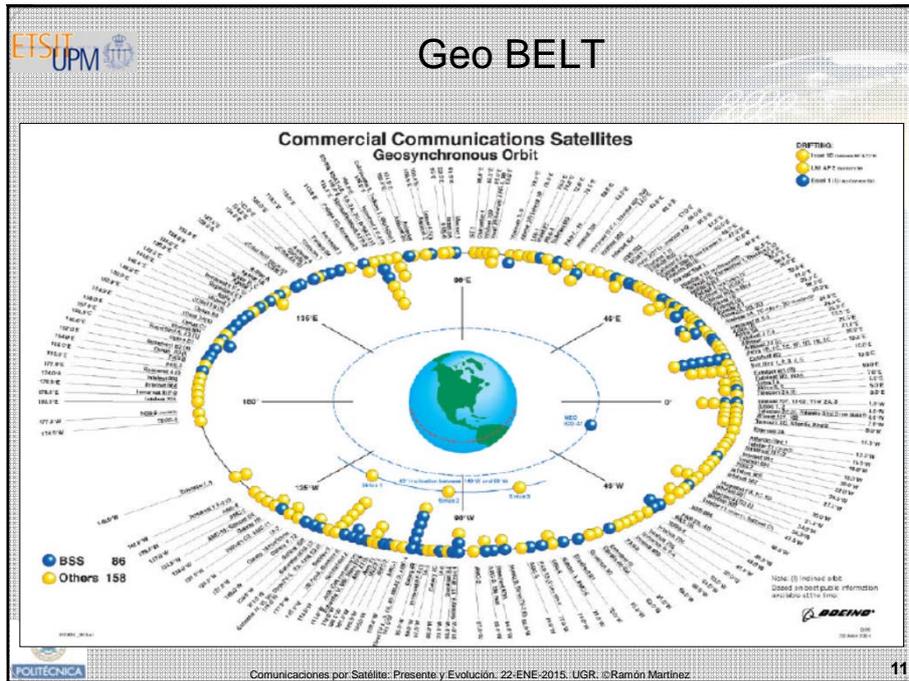
### Syncom 3: JJ OO Tokyo 1964



Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

8





**Implicaciones del uso de la órbita GEO**

- Quasi - estacionario respecto de un observador en tierra
- Estabilización del satélite (maniobras orbitales)
- Las posiciones GEO son un recurso "escaso"
- Eclipses y entorno de radiación
- Utilización de redundancia en previsión de fallos del payload o plataforma
- Lanzamiento costoso, pero procedimiento conocido y fiable
- Coberturas amplias (hemiglobales, regionales)
- Grandes pérdidas de propagación (~205 dB en banda Ku)
- Apuntamiento de antenas de tierra
- Retardo de propagación considerable (~125 mseg por trayecto)
- Aparición de interferencias, necesidad de coordinación

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

ETSIT UPM **Lanzamiento de un satélite a órbita GEO**



<https://www.youtube.com/v/L45NUXE97ig>

 POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

14

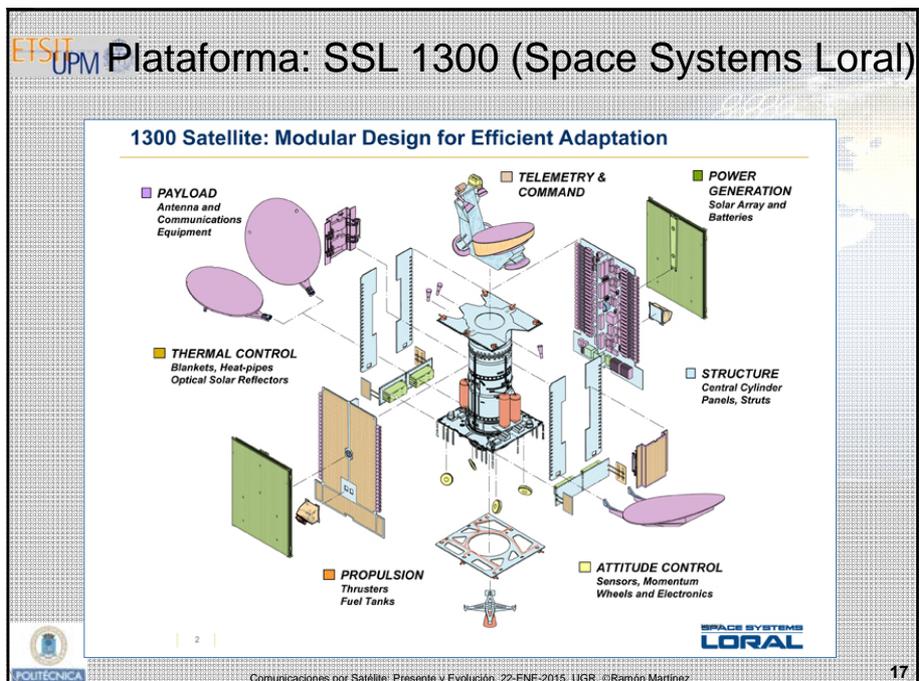
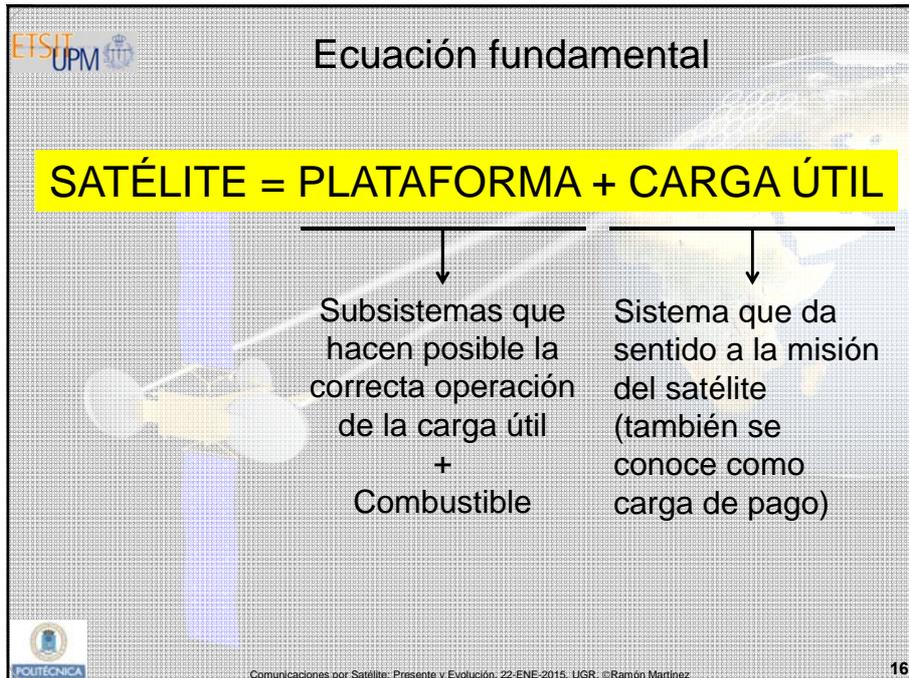
ETSIT UPM **Índice**

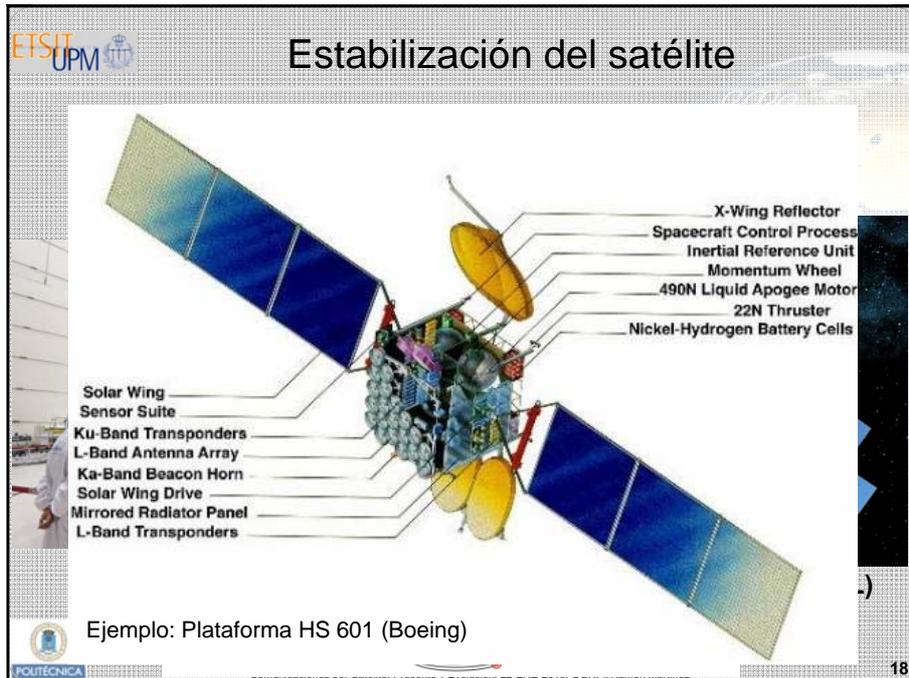
- **Introducción**
- **El satélite de comunicaciones**
  - **Plataforma**
  - **Carga útil**
- **Antenas embarcadas en satélites de comunicaciones**
- **Tecnologías de comunicaciones**
  - DVB-S vs DVB-S2 vs DVB-S2 Extensions
  - Tecnologías Carrier-in-Carrier
  - Cargas útiles de comunicaciones
  - Nuevas arquitecturas de comunicaciones
- **Ejemplos de sistemas**

 POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

15





ETSIT UPM

## Ecuación fundamental

SATÉLITE = PLATAFORMA + CARGA ÚTIL

$$\text{MASA}_{\text{SAT}} = \text{MASA}_{\text{PLATAFORMA}} + \text{MASA}_{\text{CARGA ÚTIL}}$$

Limitado por el lanzador y plataforma

$$\text{POWER}_{\text{SAT}} = \text{POWER}_{\text{PLATAFORMA}} + \text{POWER}_{\text{CARGA ÚTIL}}$$

Limitado por la plataforma

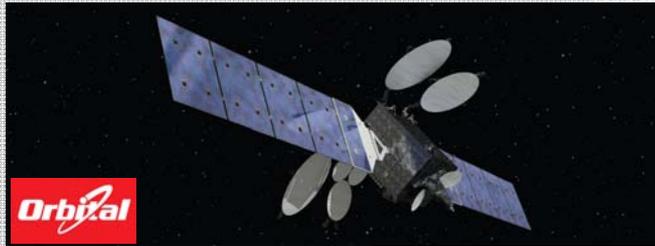



20

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

ETSIT UPM

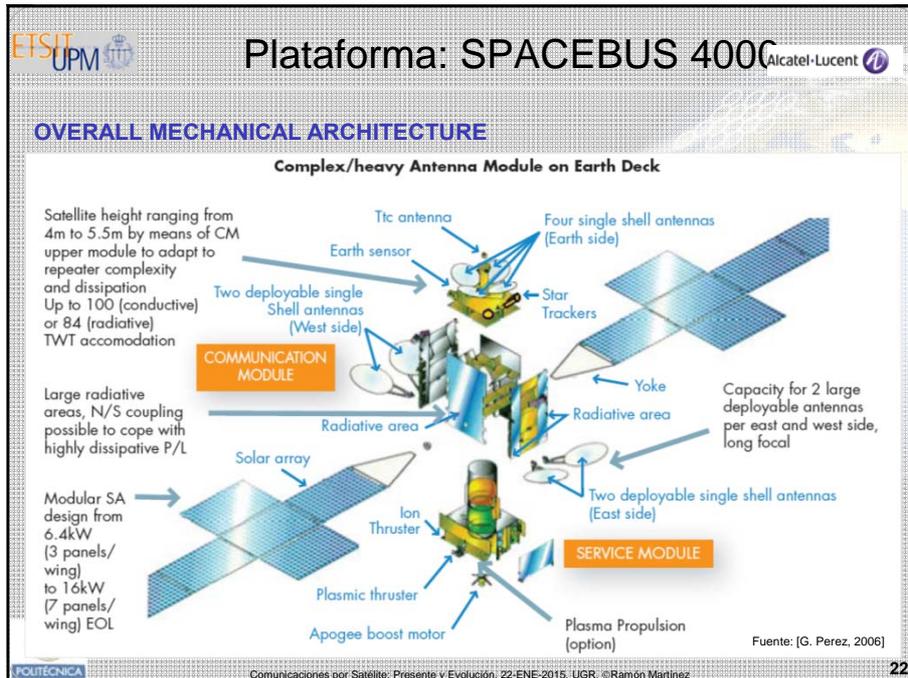
## GEOStar™-3 Bus

Specifications		Structure	
<b>Core Bus Features</b>		Bus Dimensions (HxWxL):	3.0 to 3.9 m <sup>3</sup> x 2.1 m x 2.3 m
Payload Mass Capability:	Up to 800 kg (single)	Construction:	Composite/Al
Orbit:	Geosynchronous	Power Subsystem	
Typical Mission Lifetime:	>15 years	Payload Power:	8,000 W
Delivery:	24 months after receipt of order (payload dependent)	Bus Voltage:	36 VDC (nominal)
Single Launch		Solar Arrays:	Multi-junction GaAs cells
Compatibility:	Ariane 5, Falcon 9, H-IIA, Proton, Sea Launch, Land Launch	Batteries:	Li-Ion
Dual Launch		Attitude Control Subsystem	
Compatibility:	Ariane 5, Proton, Falcon Heavy	Stability Mode:	3-axis; zero momentum
		Propulsion Subsystem	
		Transfer Orbit System:	Liquid bi-propellant
		On Orbit:	Electric + Monopropellant
		Command & Data Handling Subsystem	
		Flight Processor:	BAE RAD750
		Interface Architecture:	MIL-STD 1553B, CCSDS


21

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

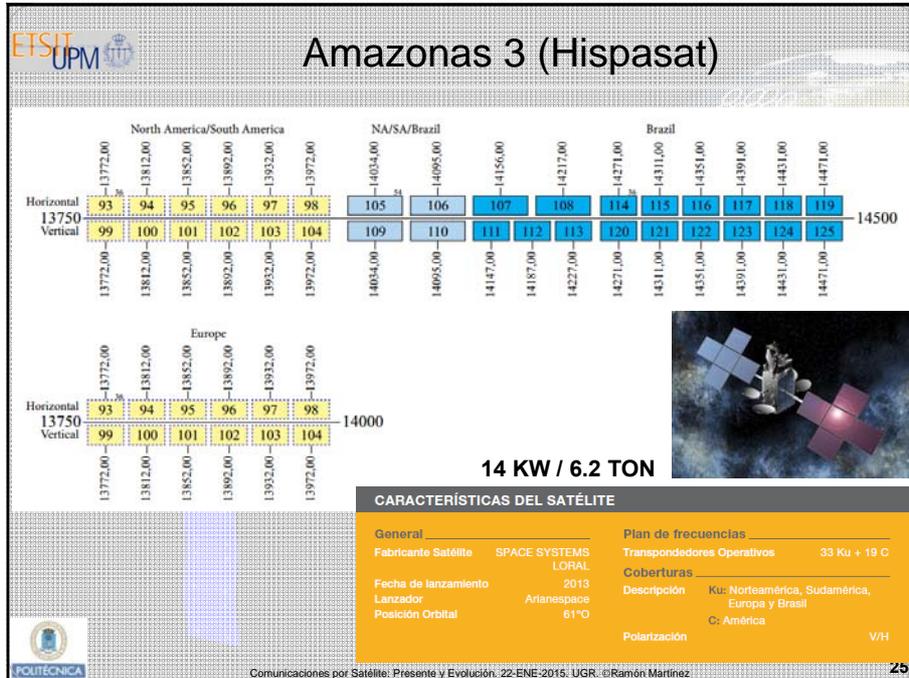
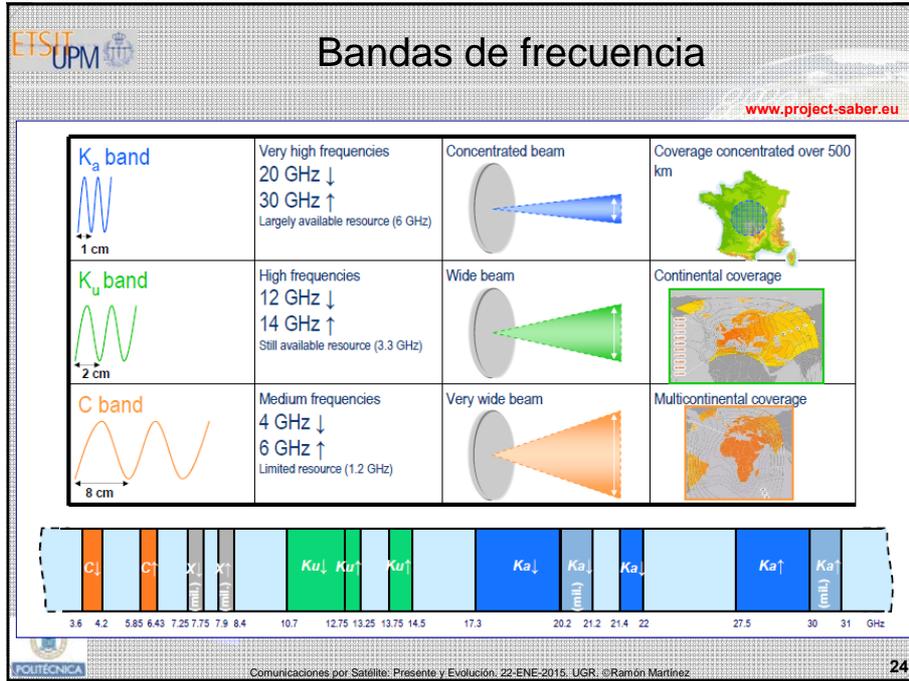


ETSIT UPM **Índice**

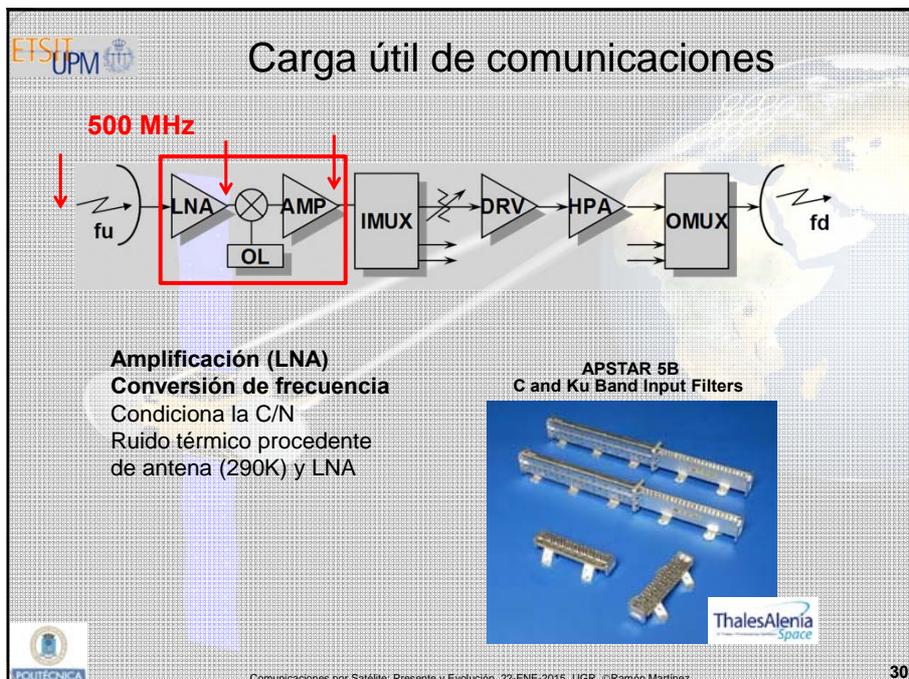
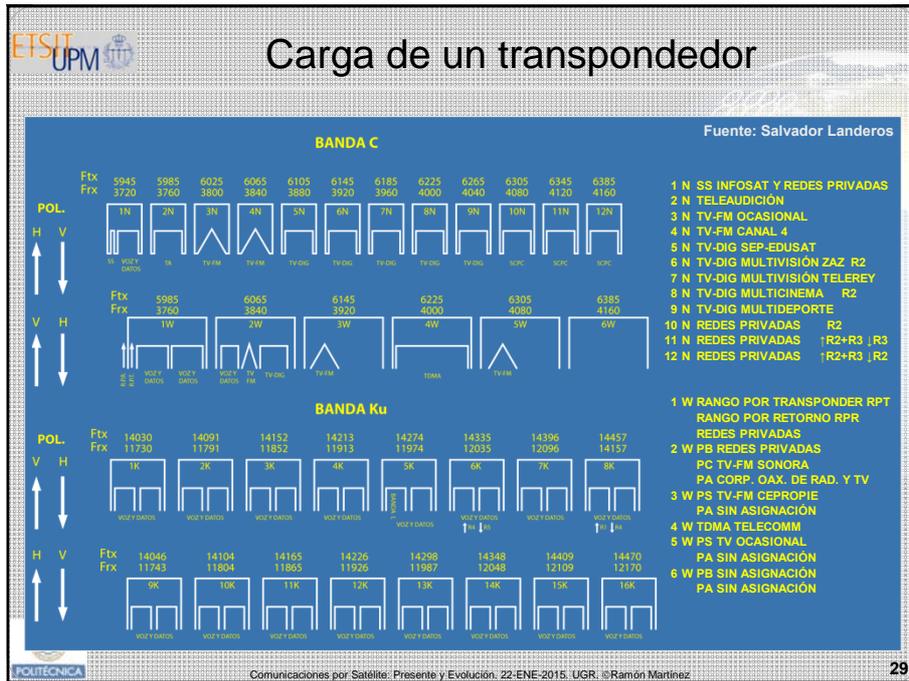
- **Introducción**
- **El satélite de comunicaciones**
  - Plataforma
  - Carga útil
- **Antenas embarcadas en satélites de comunicaciones**
- **Tecnologías de comunicaciones**
  - DVB-S vs DVB-S2 vs DVB-S2 Extensions
  - Tecnologías Carrier-in-Carrier
  - Cargas útiles de comunicaciones
  - Nuevas arquitecturas de comunicaciones
- **Ejemplos de sistemas**

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

**Evolución de los sistemas de comunicaciones por satélite**  
**Ramón Martínez. ETSIT-UPM, 2015.**  
**ETSIT. Universidad de Granada. 22 de enero de 2015**







**Carga útil de comunicaciones**

**IMUX**  
 Separación de canales  
 Banco de filtros  
 Selectividad entre canales  
 Limita la C/I adyacente  
 Introduce distorsión

**Ka-Band IMUX (YAHSAT 1A)**

ThalesAlenia Space

31

**Carga útil de comunicaciones**

**Amplificación de potencia**  
 Elemento no lineal  
 Distorsión AM/AM y AM/PM  
 Degrada modulaciones multinivel  
 Tecnología TWTA y SSPA  
**Punto de operación /IBO)**  
 para minimizar intermodulación y optimizar potencia y consumo

**Amplifier Characteristic**

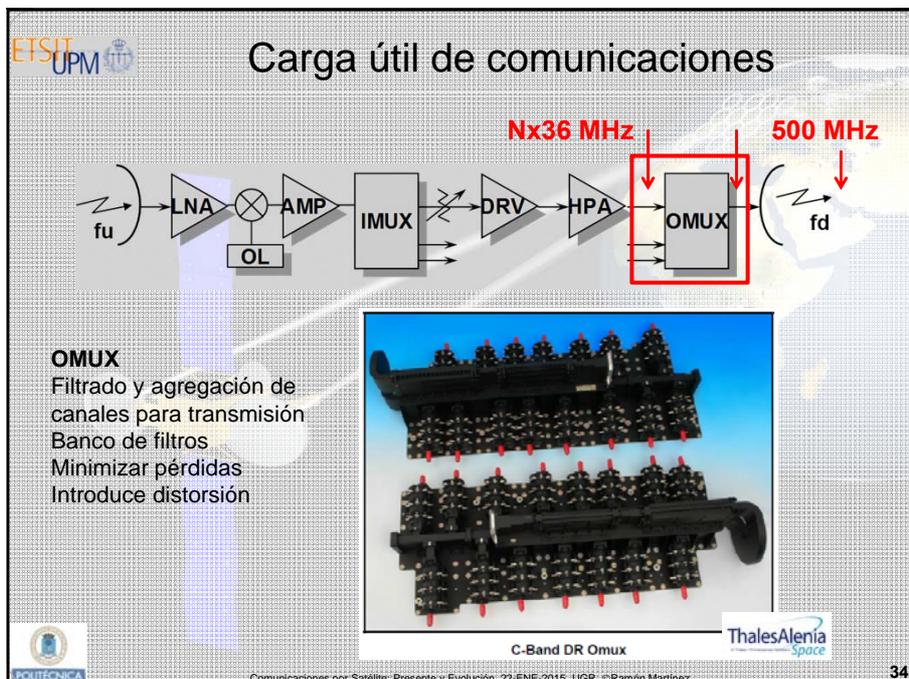
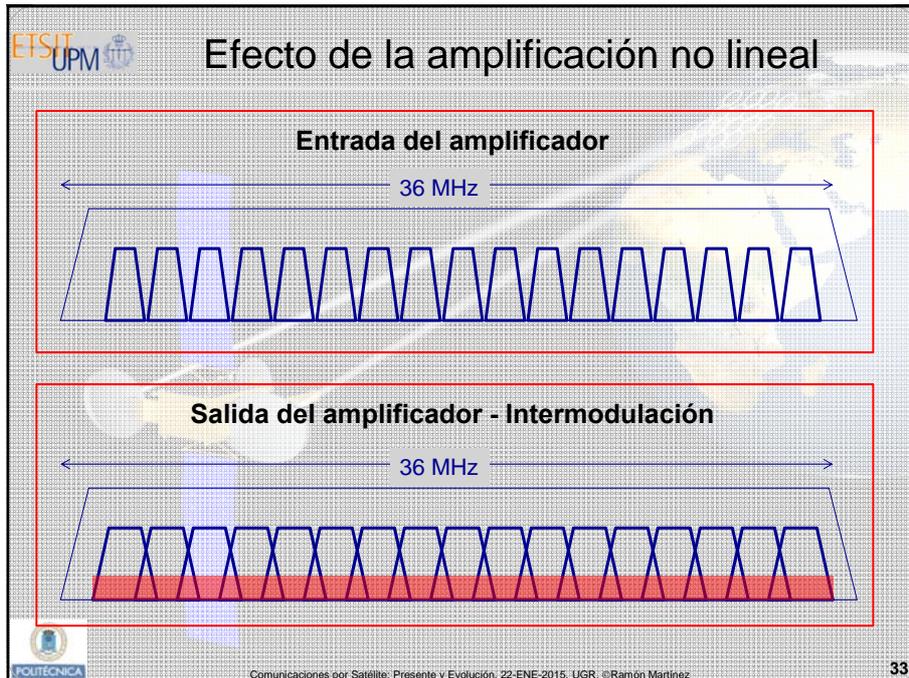
OBO (dB)

IBO (dB)

Zona lineal

Zona no lineal

32



**Carga útil de comunicaciones**

**Si carga útil transparente (bent-pipe):**

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_D^{-1} + \left(\frac{C}{IM}\right)^{-1}$$

ETSIT UPM POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

35

**Carga útil de comunicaciones**

**Si carga útil regenerativa (OBP):**

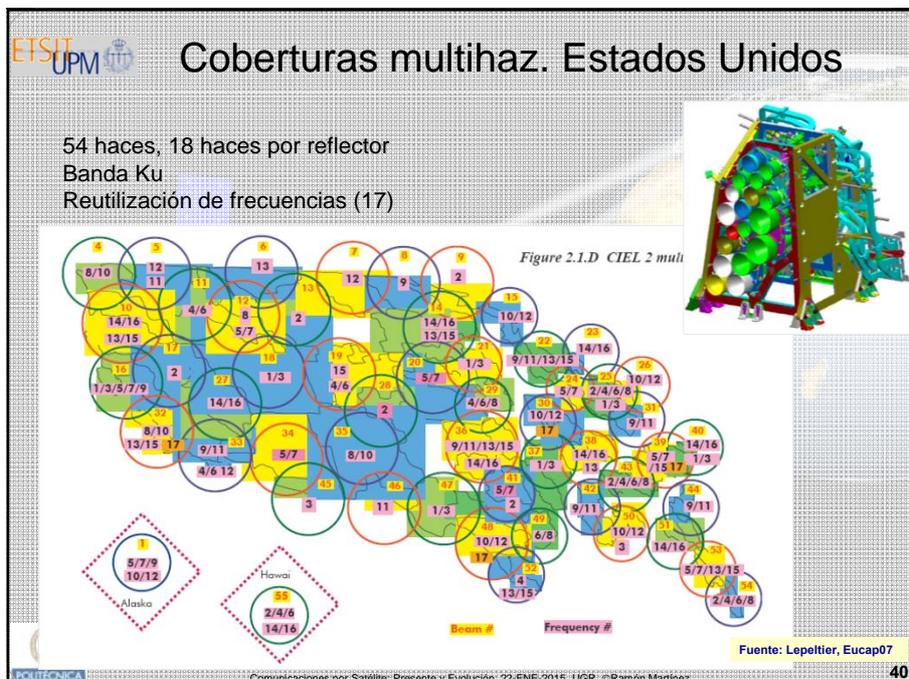
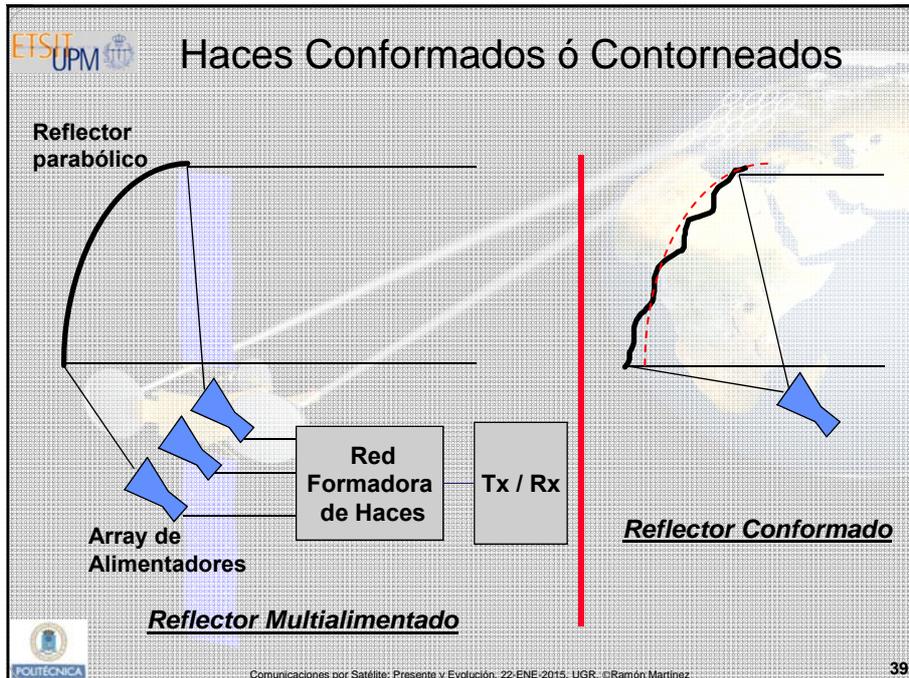
$$BER_T \approx BER_U + BER_D \approx BER_D$$

ETSIT UPM POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

36





ETSIT UPM

### Sistemas de antenas en C, Ku y Ka

AM6-C.F1  
 AM6-Ku.S1  
 C-Tx.G  
 C-Rx.G  
 AM6-Ka.MBa  
 AM6-Ka.MBc  
 AM6-Ku.F1/F2  
 >.F2  
**Express-AM6**

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

41

ETSIT UPM

### Cobertura por haces lingüísticos. Europa

Gain  
 Transmit 2170 MHz  
 Satellite 10.00 0.00 35795.  
 Centre carte 5.00 46.50 0.  
 Euler -90.00 0.00 0.00 Frequnce 2170. Mhz  
 Niveau (dB/1iso)

ATES le 13 JUL 2007  
 esp-2170-mhz-gge.dlm

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. © Ramón Martínez

42

ETSIT UPM

## Ejemplos de uso de mesh reflectors



Thuraya 12, banda L, 12.25 m

MBSAT Program SS/L Satellite, banda S, 12 m

Inmarsat 4, banda L, 9 m.  
BGAN (432 kbit/s) compatible con 3G

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

43

ETSIT UPM

## Índice

- **Introducción**
- **El satélite de comunicaciones**
  - Plataforma
  - Carga útil
- **Antenas embarcadas en satélites de comunicaciones**
- **Tecnologías de comunicaciones**
  - DVB-S vs DVB-S2 vs DVB-S2 Extensions
  - Tecnologías Carrier-in-Carrier
  - Cargas útiles de comunicaciones
  - Nuevas arquitecturas de comunicaciones
- **Ejemplos de sistemas**



Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

44

**Tecnologías**

**Desarrollo de tecnologías para la optimización de la capacidad satelital**

**Nuevas arquitecturas de cargas útiles reconfigurables y capaces de adaptarse a las variaciones en la demandas de tráfico**

**Uso de satélites de comunicaciones para responder a nuevos servicios**

45

**DVB-S**

Inner code rate	Required $E_b/N_0$ for BER = $2 \times 10^{-4}$ after Viterbi QEF after Reed-Solomon
1/2	4,5
2/3	5,0
<b>QPSK + 3/4</b>	<b>5,5</b>
5/6	6,0
7/8	6,4

$0.92 \text{ a } 1.61 \text{ bps/Hz}$   $1.9 \text{ dB}$

**116.8° W - Satmex 8**

3720 V SR 27000 Cobertura Americas Señal MEDIC Sistema DVB-S FEC 7/8  $1.61 \cdot 27000 = 43.47 \text{ Mbit/s}$

Paquete (Mux) Edusat / ESAD (México)	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	
TV Docencia (México)	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	32 49 32
Telesecundaria	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	33 48 33
Telebachillerato	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	35 51 35
Telesecundaria +	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	36 52 EST 36
ILCE	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	37 53 37
ILCE	ABIERTO	MPEG2	SD	4:3	NTSC	38 54 E 38

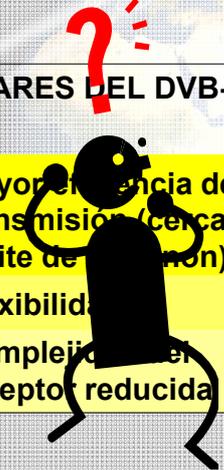
46

**DVB-S2. ¿Por qué es necesario?**

- Satisfacer la creciente demanda de servicios por satélite
- Mayor eficiencia en el uso del transpondedor
- Uso de banda Ku y Ka
- Compatibilidad con cualquier formato de entrada (IP, MPEG-2, etc.)
- Ampliar oferta de servicios (acceso a Internet, servicios profesionales)
- *Backward-compatible* con DVB-S

**PILARES DEL DVB-S2**

- Mayor eficiencia de transmisión (cerca del límite de Shannon)
- Flexibilidad
- Complejidad en el receptor reducida

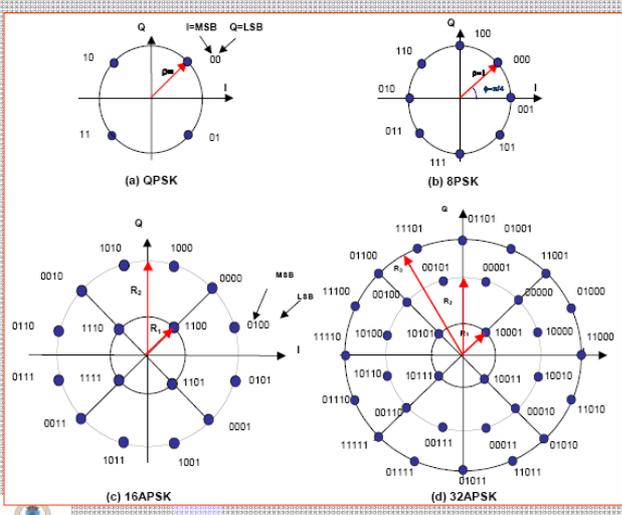


ETSIT UPM POLITECNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

47

**DVB-S2: Modulación**



**QPSK y 8PSK**

- Envoltura "constante"
- HPA en saturación (no lineal)
- Aplicaciones de broadcasting

**16APSK y 32APSK**

- Gran eficiencia espectral
- Constelación en círculos por robustez en canales no lineales
- HPA en zona lineal o técnicas de predistorsión
- Aplicaciones profesionales
- 16APSK: mejorar la eficiencia espectral de broadcasting

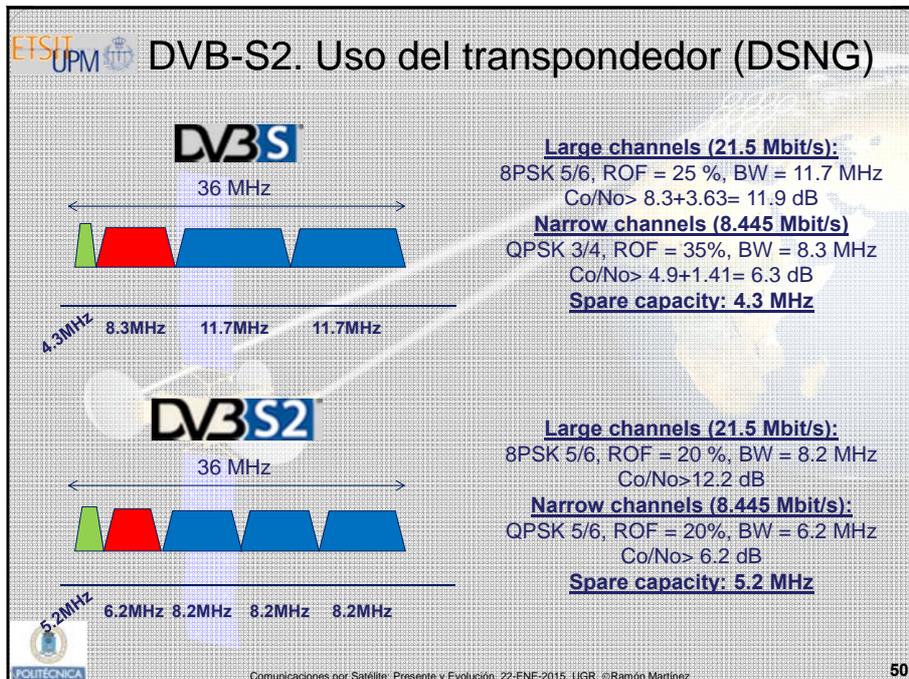
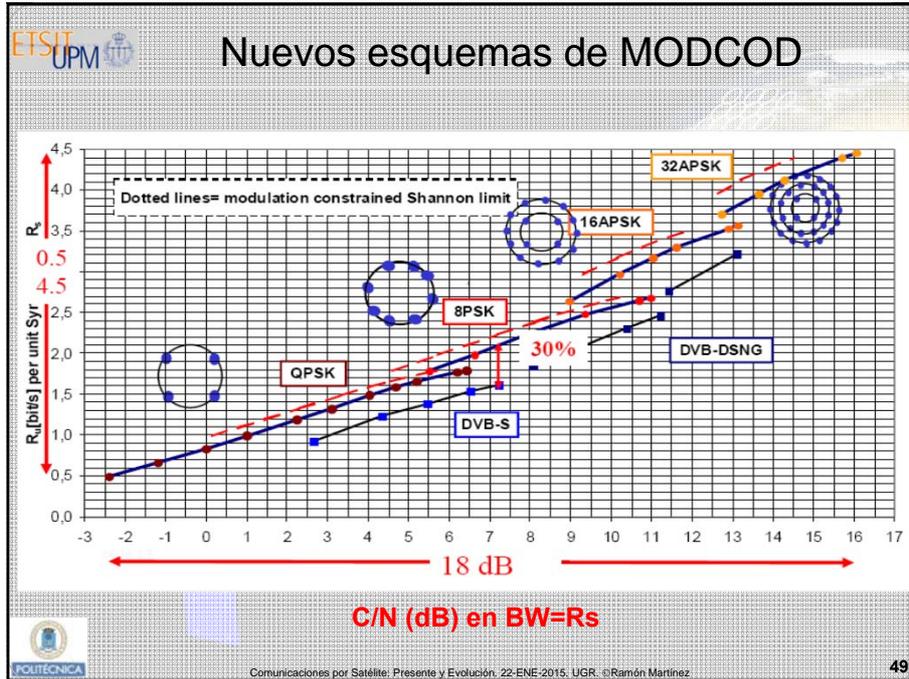
**Factores roll-off**

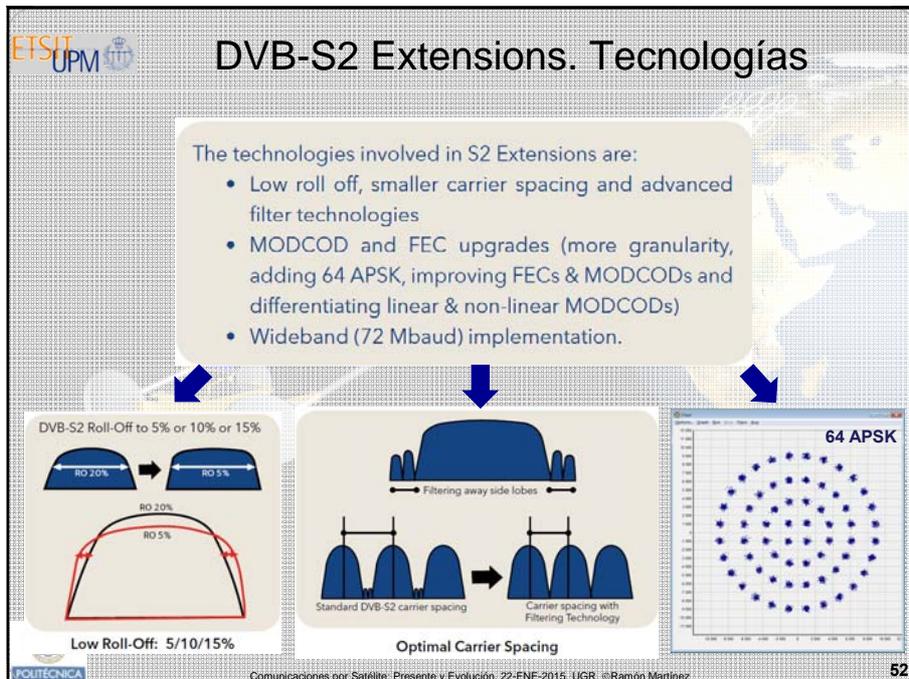
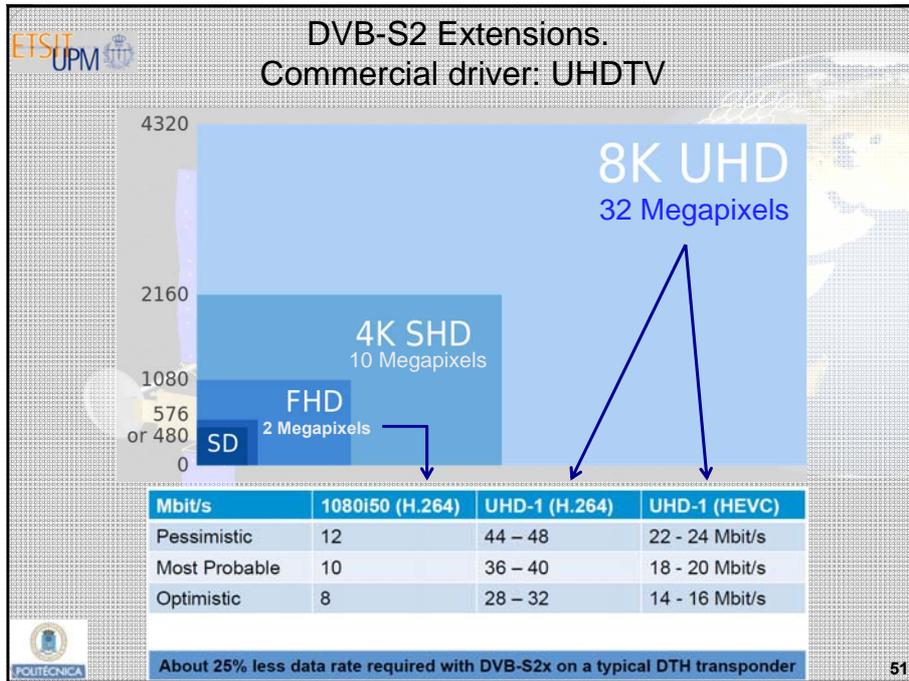
- 0.2, 0.25, 0.35

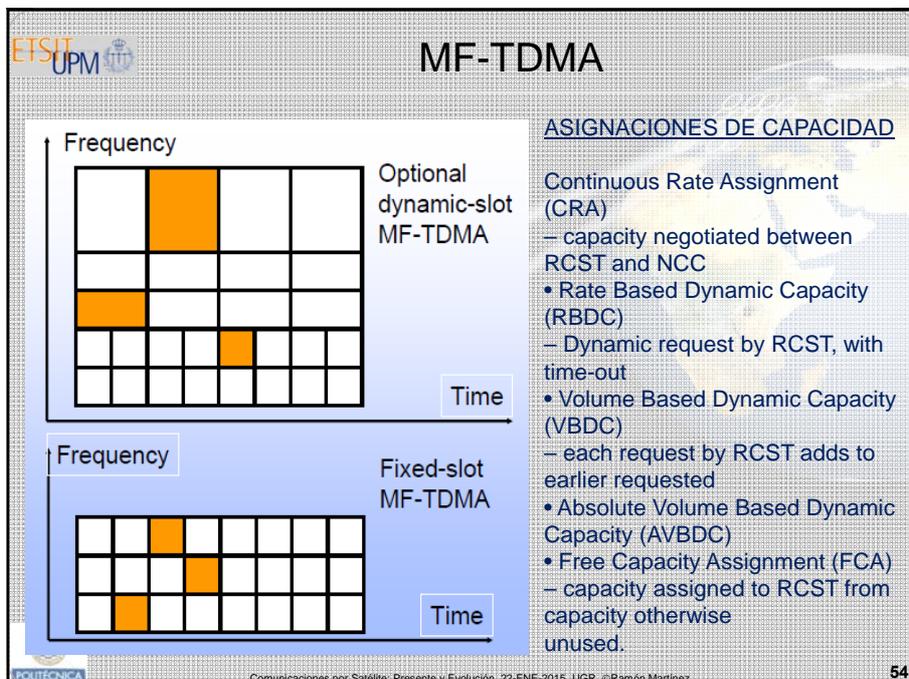
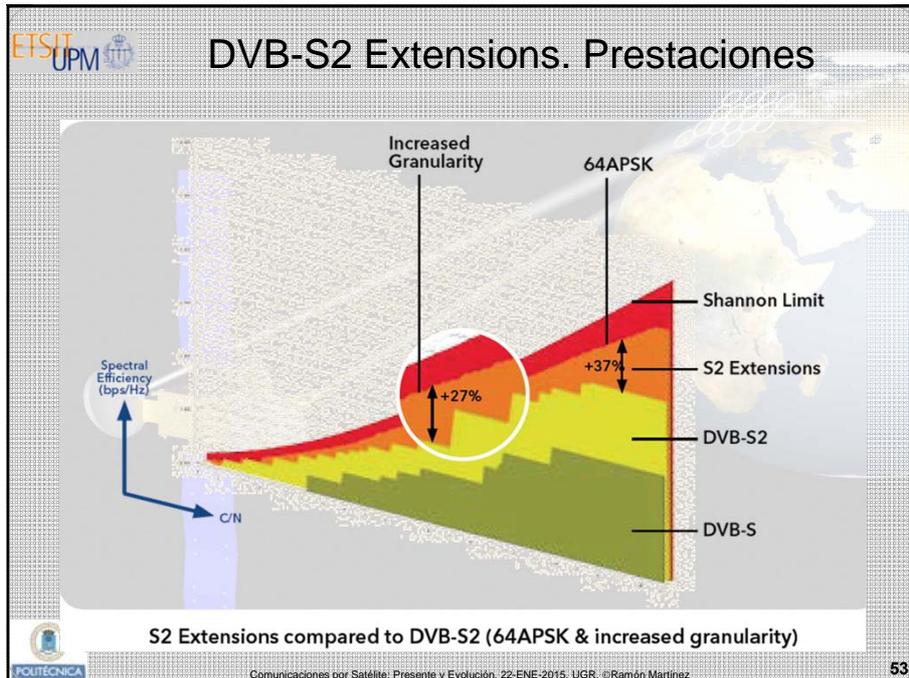
ETSIT UPM POLITECNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

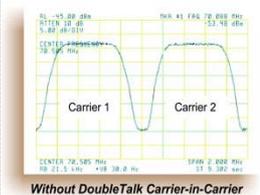
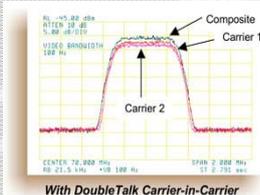
48







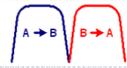
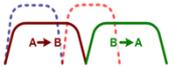
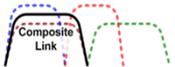
### Tecnologías Carrier-in-Carrier

The conventional link is using 8PSK, TPC 3/4.

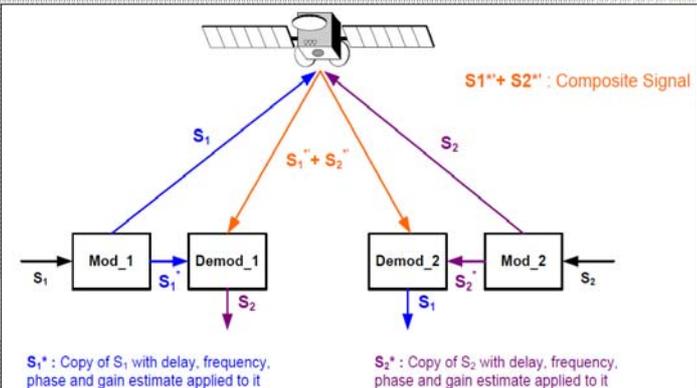
Spread the signal by switching to a lower order modulation and/or FEC code – say QPSK, TPC 7/8. This increases the total transponder bandwidth, while reducing the total transponder power.

Now using DoubleTalk Carrier-in-Carrier, the second QPSK, TPC 7/8 carrier can be moved over the first carrier – thereby reducing the total transponder bandwidth and total transponder power when compared to the original side-by-side 8PSK, TPC 3/4 carriers.

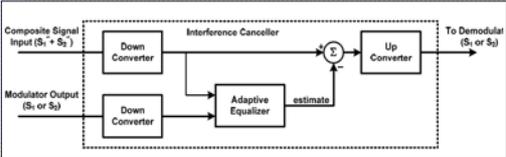




Fuente: ComTECH

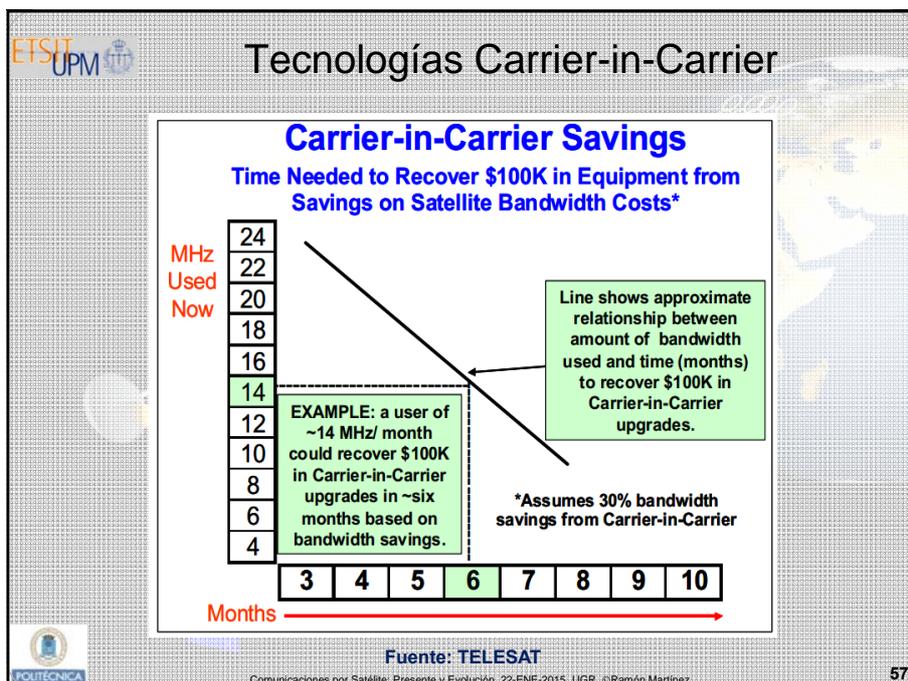
### Tecnologías Carrier-in-Carrier



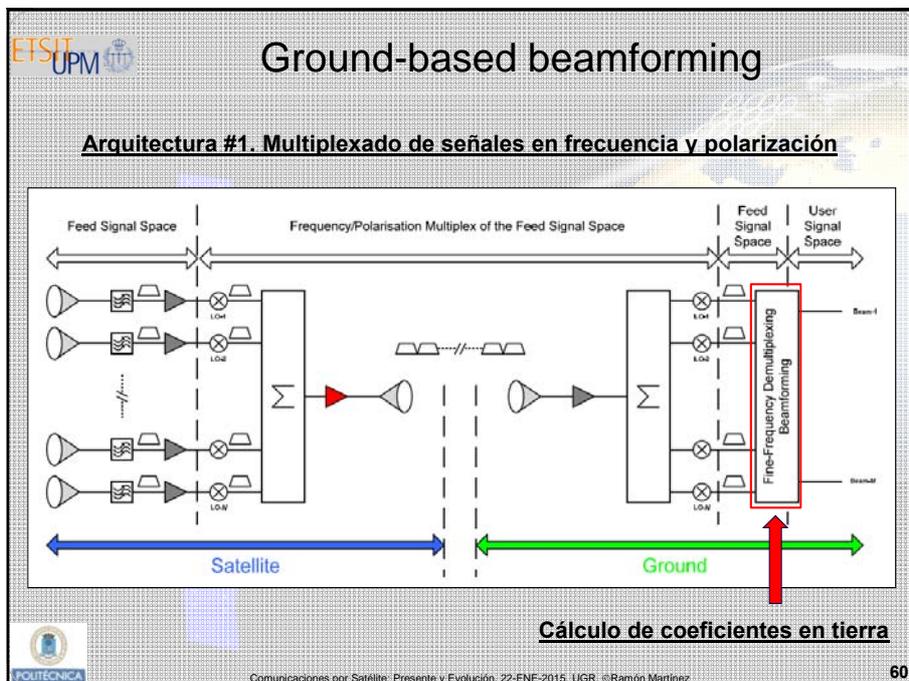
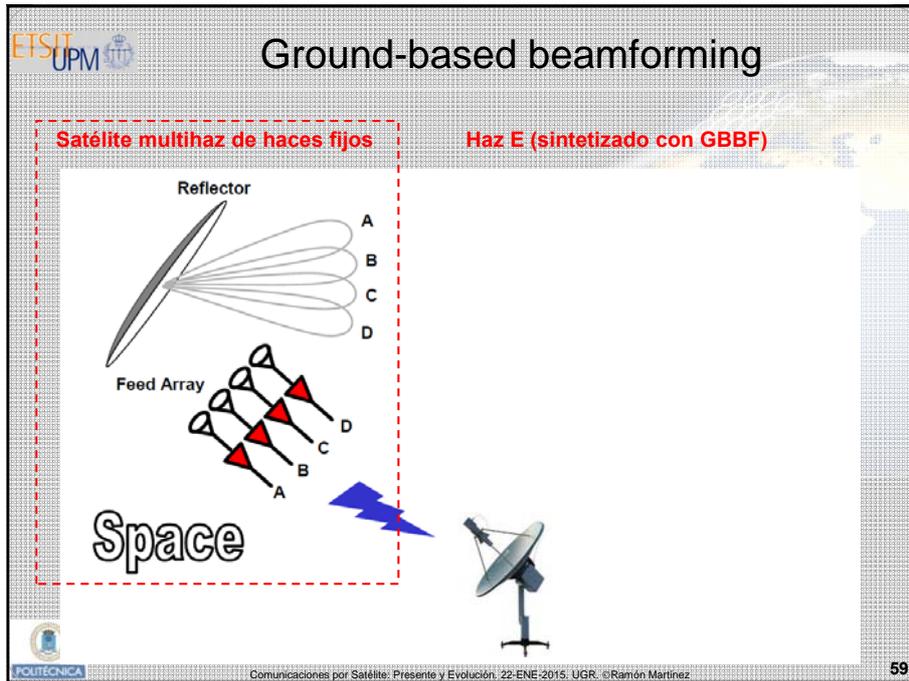
$S_1^*$ : Copy of  $S_1$  with delay, frequency, phase and gain estimate applied to it  
 $S_2^*$ : Copy of  $S_2$  with delay, frequency, phase and gain estimate applied to it

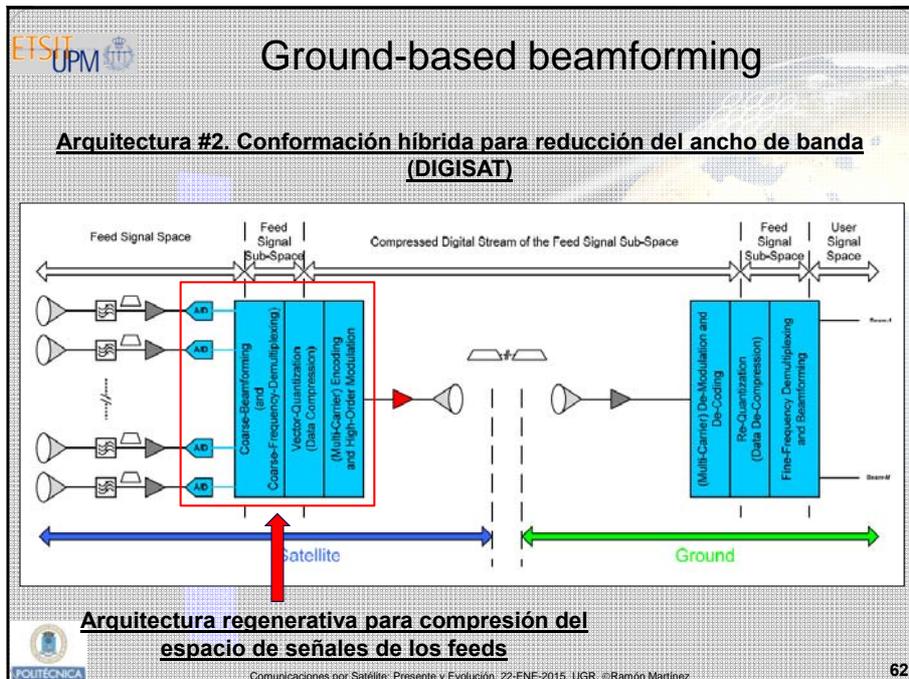
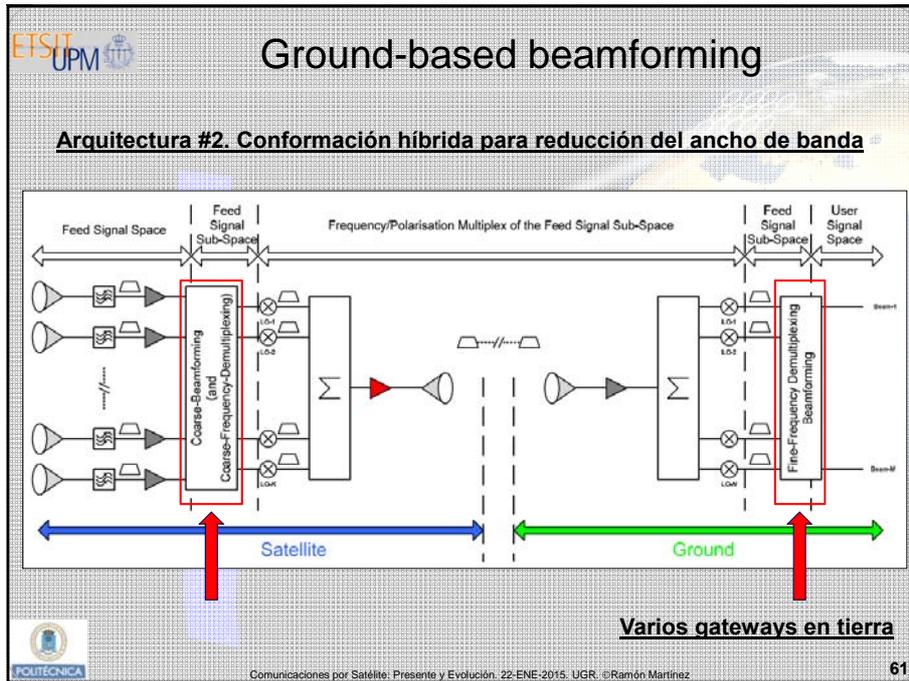


Fuente: ComTECH

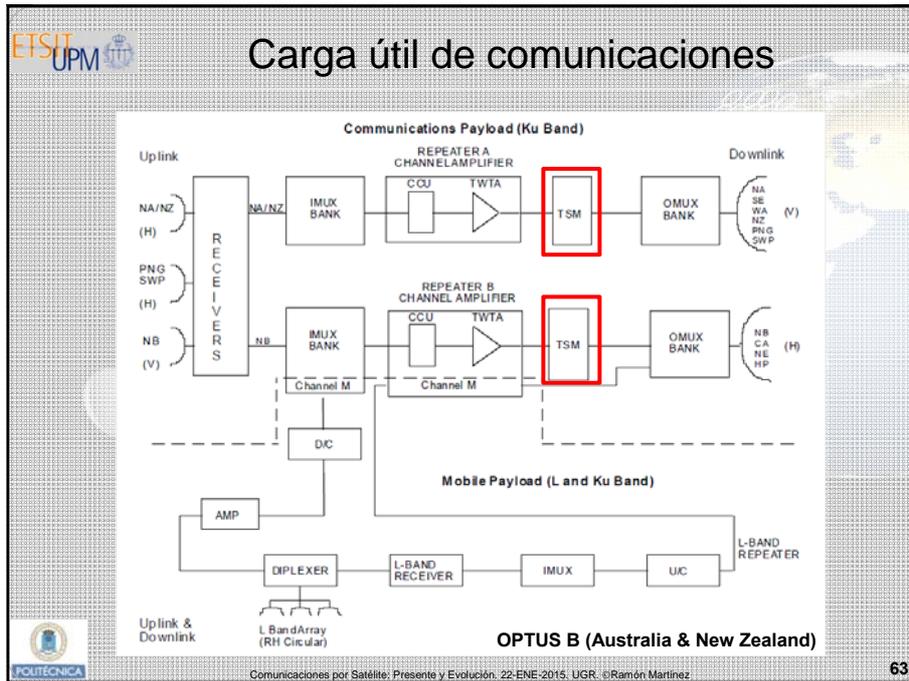


- ### Ground-based beamforming
- Sistema de procesamiento masivo de haces combinando recursos terrestres y/o del satélite
  - Reduce los costes del satélite ya que parte del procesamiento se hace en tierra
  - Coordina el uso de frecuencias/polarizaciones para reducir la interferencia cocanal entre un gran número de usuarios
  - Permite adaptar los recursos satelitales a las áreas geográficas de mayor demanda de forma dinámica
  - Aplicación:
    - Acceso a internet de banda ancha (adaptación a la demanda)
    - Comunicaciones móviles en satélites multihaz (escenario cambiante)
    - Reapuntamiento de haces y cancelación de jammers en sistemas satelitales militares
    - Compartición de frecuencias entre sistemas satélite y terrestres
- Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez
- 58

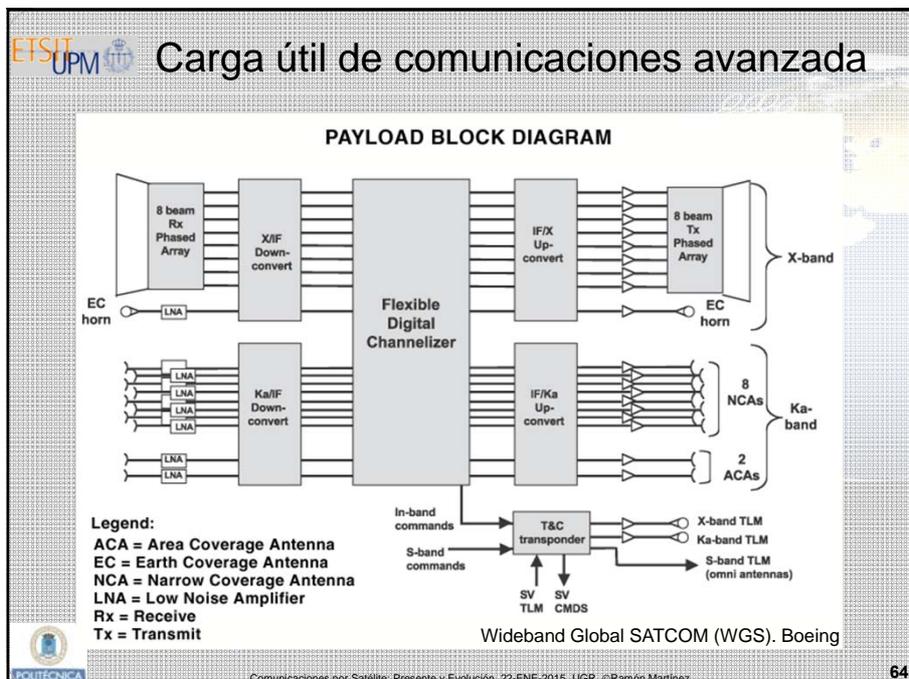




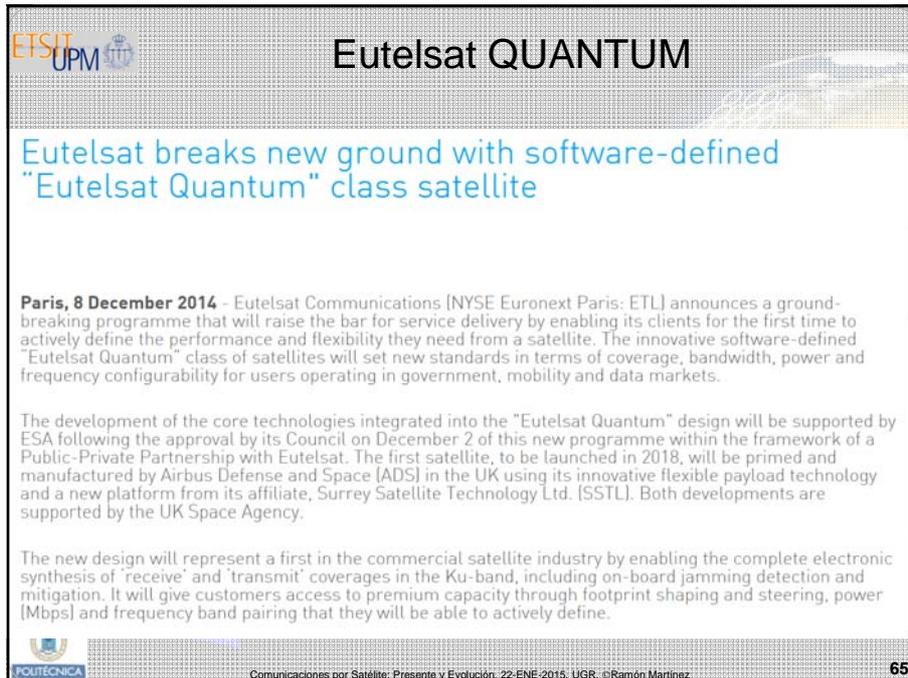
Evolución de los sistemas de comunicaciones por satélite  
 Ramón Martínez. ETSIT-UPM, 2015.  
 ETSIIT. Universidad de Granada. 22 de enero de 2015



63



64



**Eutelsat QUANTUM**

Eutelsat breaks new ground with software-defined "Eutelsat Quantum" class satellite

**Paris, 8 December 2014** - Eutelsat Communications (NYSE Euronext Paris: ETL) announces a ground-breaking programme that will raise the bar for service delivery by enabling its clients for the first time to actively define the performance and flexibility they need from a satellite. The innovative software-defined "Eutelsat Quantum" class of satellites will set new standards in terms of coverage, bandwidth, power and frequency configurability for users operating in government, mobility and data markets.

The development of the core technologies integrated into the "Eutelsat Quantum" design will be supported by ESA following the approval by its Council on December 2 of this new programme within the framework of a Public-Private Partnership with Eutelsat. The first satellite, to be launched in 2018, will be primed and manufactured by Airbus Defense and Space (ADS) in the UK using its innovative flexible payload technology and a new platform from its affiliate, Surrey Satellite Technology Ltd. (SSTL). Both developments are supported by the UK Space Agency.

The new design will represent a first in the commercial satellite industry by enabling the complete electronic synthesis of "receive" and "transmit" coverages in the Ku-band, including on-board jamming detection and mitigation. It will give customers access to premium capacity through footprint shaping and steering, power (Mbps) and frequency band pairing that they will be able to actively define.

ETSIT UPM

POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

**65**



**Índice**

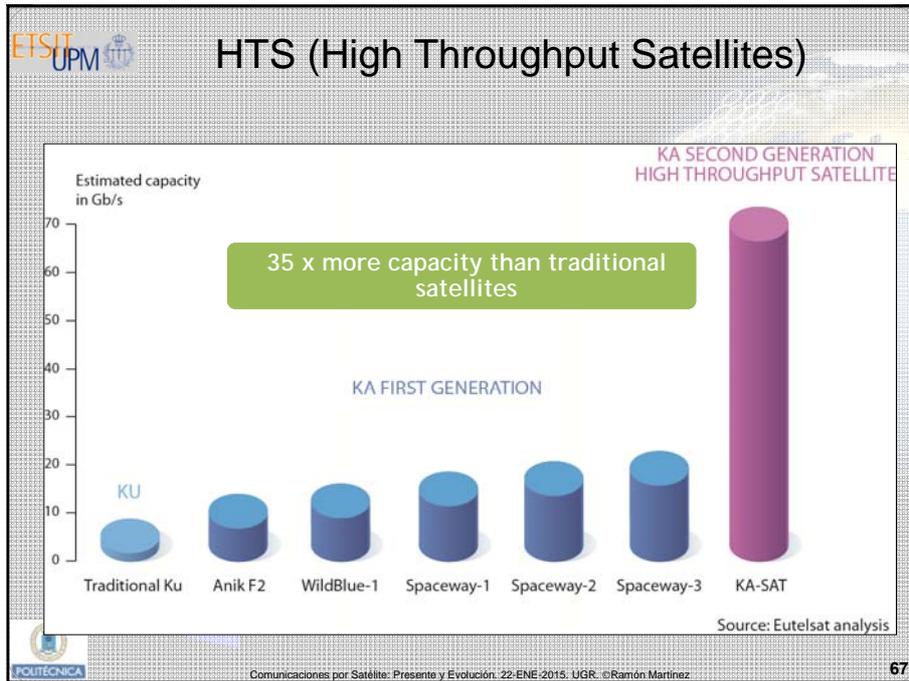
- **Introducción**
- **El satélite de comunicaciones**
  - Plataforma
  - Carga útil
- **Antenas embarcadas en satélites de comunicaciones**
- **Tecnologías de comunicaciones**
  - DVB-S vs DVB-S2 vs DVB-S2 Extensions
  - Tecnologías Carrier-in-Carrier
  - Cargas útiles de comunicaciones
  - Nuevas arquitecturas de comunicaciones
- **Ejemplos de sistemas**

ETSIT UPM

POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

**66**



10	Gateways all over Europe
82	Ka-band spots of 250km diameter
availability	99.8 %
55	Countries covered in Europe and Mediterranean Basin
500 M€	Eutelsat investment in KA-SAT satellite and ground segment
50.000	Terminals installed all over Europe in 6 months
Satellite Delay	Absorbed by sophisticated software accelerators
Rain Sensitivity	Absorbed by the much higher power and by back-up teleports

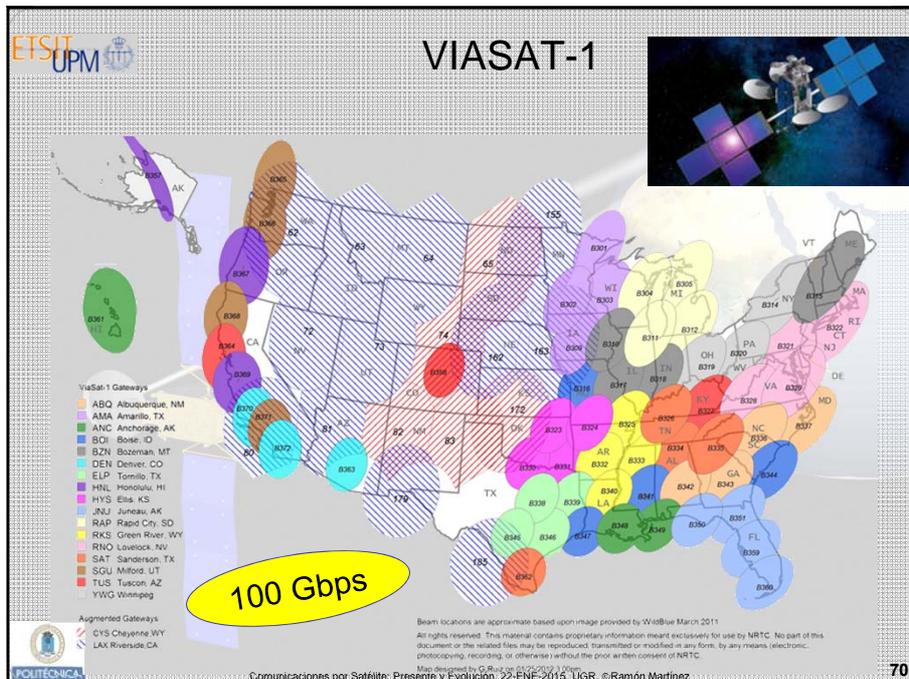
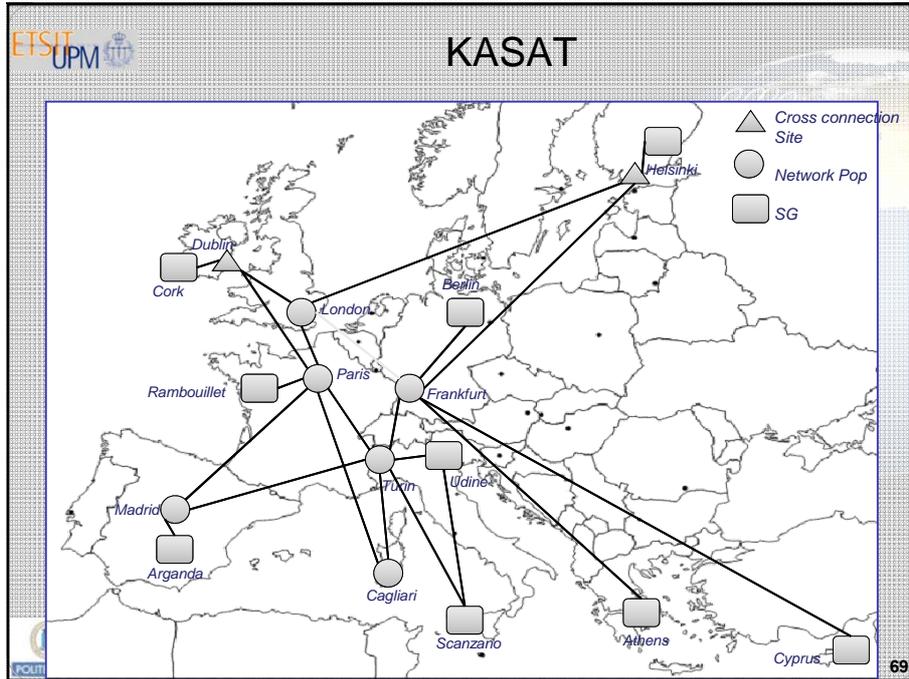
**KA-Sat Ka-Band (13° East)**  
 May 2011

- IP > 10 Mbps (OB)
- > 4 Mbps (IB)
- 75 cm
- 90 cm
- Business-IP
- Back-up IP
- D-SNG IP
- Trunking IP

**70 Gbps**

Evolución de los sistemas de comunicaciones por satélite  
 Ramón Martínez. ETSIT-UPM, 2015.

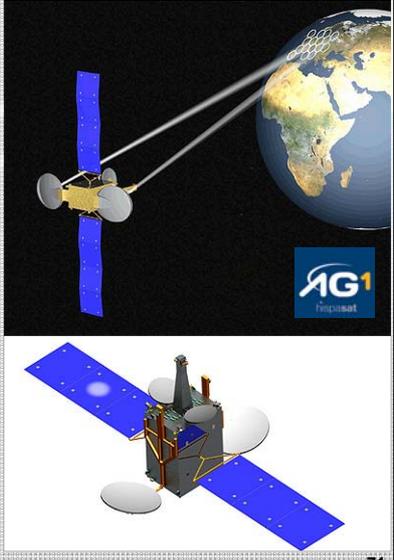
ETSIT. Universidad de Granada. 22 de enero de 2015



ETSIT UPM

## Small GEOs

- Programa ARTES-11 de la ESA
- 15 años
- Carga útil de 300 kg y 3 KW
- Hispasat AG-1
  - 24 transpondedores Ku
  - 3 en banda Ka
  - REDSAT payload
    - Industria española
    - Procesado a bordo
    - Haces reconfigurables (Ku, 36 MHz)
  - Partners:
    - Hispasat
    - Thales Alenia Space (carga útil)
    - EADS-CASA (antenas)
    - OHB System AG
    - TESAT GmbH



AG1 hispasat

POLITÉCNICA

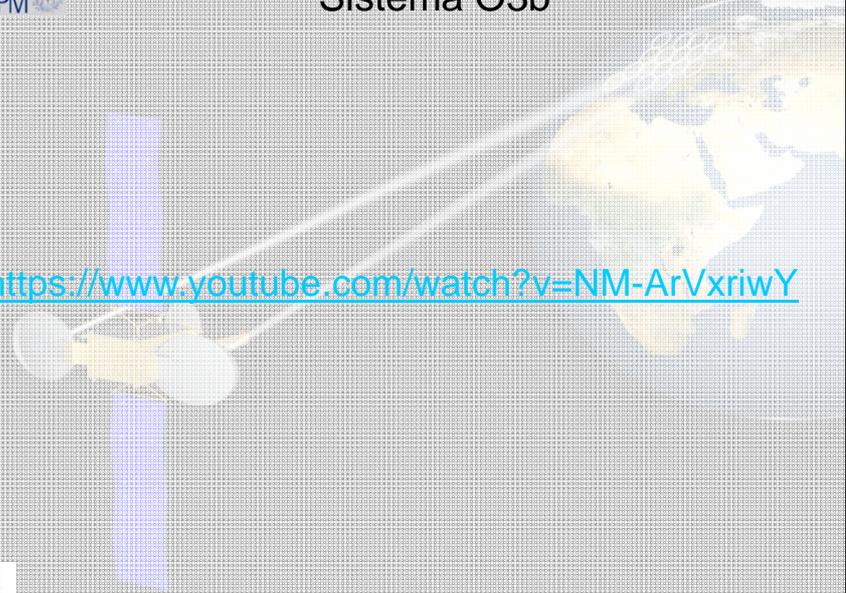
Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

71

ETSIT UPM

## Sistema O3b

<https://www.youtube.com/watch?v=NM-ArVxriwY>



POLITÉCNICA

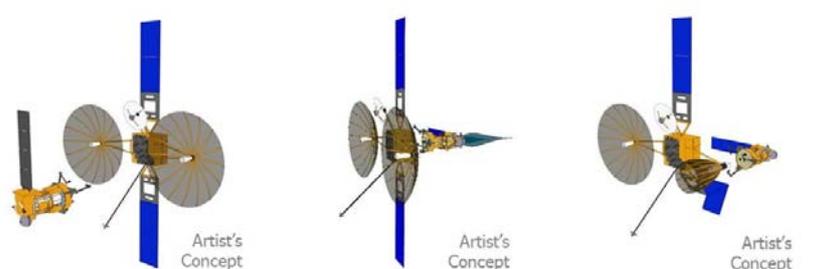
Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

72

ETSIT UPM

## Orbit servicing

**DARPA Goals for GEO Robotics Servicing**



Artist's Concept      Artist's Concept      Artist's Concept

- Cooperatively inspect spacecraft experiencing anomalies**
- Cooperatively assist with orbit adjustments**
- Cooperatively correct mechanical problems**

POLITÉCNICA

Comunicaciones por Satélite: Presente y Evolución. 22-ENE-2015. UGR. ©Ramón Martínez

74

*¡Muchas gracias!*



*ramon.martinez@upm.es*