



Avances y Tendencias en Redes Satelitales

*Seminario / Taller sobre Nuevas Tecnologías
en Redes Satelitales y Terrestres*

*OACI - Oficina Regional Sudamericana, Lima, Perú
18 al 20 de julio de 2011*

Domingo Soltero
INSA
dsoltero@insa.org

Carlos Belaustegui Goitia
SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS
c.belaustegui@ses.com.ar

- **INSA S.A.**
- **SES SISTEMAS ELECTRÓNICOS S.A.**
- **El estado actual**
 - Arquitectura genérica
 - Técnicas de acceso múltiple
 - SCPC-DAMA
 - TDM-TDMA y TDMA
 - Estado del arte en sistemas Hubless
 - Soluciones híbridas
 - CDMA-DAMA
- **Avances y tendencias**
 - Impulsores
 - Crecimiento de Internet y VSAT
 - Proyección de crecimiento de Internet
 - Proyección de demanda de capacidad
 - Eficiencia espectral global
 - Modulación
 - APSK
 - Codificación
 - TPC, LDPC
 - TPC, LDPC – Trabajo futuro
 - Algunas líneas de I+D abiertas
 - Eficiencia espectral – Ejemplo
 - ACM
 - Cobertura multi-haz
- **Conclusiones**



INSA

INGENIERÍA Y SERVICIOS AEROSPACIALES, S.A.



- **Ingeniería y Servicios Aeroespaciales (INSA)** es la mayor compañía española del sector por número de empleados en el campo de servicios aeroespaciales.
- INSA es una empresa mercantil propiedad del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), organismo perteneciente al Ministerio de Defensa.
- Se constituyó por mandato del Consejo de Ministros (14 de Mayo de 1992).
- Tiene el siguiente **objeto social**:
 - Proporcionar **servicios técnicos especializados** en campos de tecnología punta tales como estaciones de seguimiento y adquisición de datos de vehículos espaciales ...
 - ... así como otras actividades relacionadas con la **ingeniería aeronáutica y espacial**.
- Áreas de operación:
 - ✓ Gestión, operación y mantenimiento de complejos espaciales y estaciones de tierra para satélites.
 - ✓ Ingeniería: Ingeniería del segmento terreno, Comunicaciones por satélite, Emergencias y teledetección, UAVs y sistemas de control, Asistencias técnicas, I+D+i



Estaciones y redes de comunicaciones por satélite con un **alto contenido de ingeniería** o para aplicaciones especiales

- **Comunicaciones aeronáuticas:**
enlaces seguros y robustos entre centros de control de tráfico aéreo, radares o transmisores tierra-aire
- **Comunicaciones gubernamentales en banda X**
- **Comunicaciones generales:**
redes de propósito general (VoIP, Internet, datos...) para aplicaciones especiales (ej.: comunicaciones en base antártica)
- **Comunicaciones militares**
terminales de bajo coste y terminales de comunicación en movimiento terrestres y marítimos. Realizado en colaboración con XSAT



Principales referencias:

- Red CAFSAT: **control del tráfico aéreo** en el corredor Europa-**Sudamérica**. 10 estaciones en Europa, África y Sudamérica
- Red para COCESNA: **control del tráfico aéreo** en 5 países de **Centroamérica**
- **Red aeronáutica** de Marruecos
- Red de **control del satélite Amazonas** entre España, México y Brasil
- **Terminales semiestáticos** de bajo coste en banda X para EMACON
- **Red aeronáutica** en Túnez
- Extensión CAFSAT a Noaukchott, Nouadibou y Las Palmas y migración de la red a un nuevo satélite

Proyectos en curso:

- Red ANAC Argentina para **comunicaciones de tráfico aéreo**
- Rediseño red **CAFSAT** con nuevas tecnologías de banda base.
- **Red segura** para Asuntos Exteriores y CNI sobre SPAINSAT/XTAR
- **Comunicaciones base antártica** Juan Carlos I para el CSIC



- **Con más de 40 años como integrador y prestador de servicios, SES es una de las empresas regionales con más larga trayectoria en el sector de Telecomunicaciones.**
- **Algunos proyectos realizados por SES en el campo de las comunicaciones satelitales:**
 - **ANAC – Administración Nacional de Aviación Civil:** Redes de comunicaciones satelitales para servicios de protección al vuelo (AMHS, circuitos orales ATS, transmisión datos Radar, etc.) en todos los Aeropuertos y Aeródromos de Argentina.
 - **Gobierno de la Provincia de Córdoba:** Red de 300 VSATs para teleeducación y acceso a Internet en escuelas rurales de montaña.



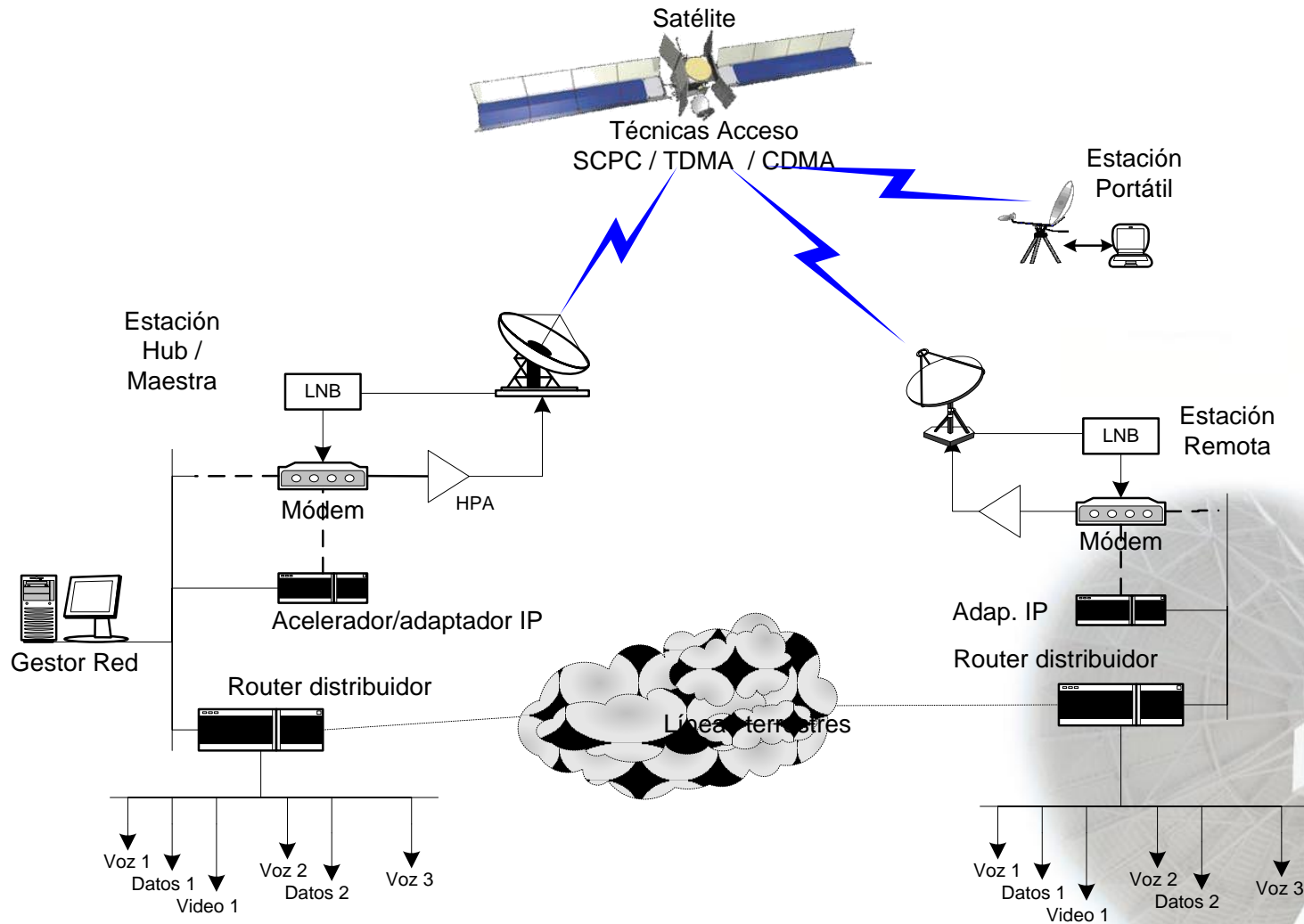
- **Agencia Espacial Europea (ESA)- Antena de exploración de Espacio Profundo DSA3 en Malargüe (Provincia de Mendoza):** Ingeniería e instalación de unidades de distribución de potencia, instalación eléctrica y de comunicaciones, sistemas contra incendio, puesta a tierra y protecciones contra descargas.
- **Nahuelsat S.A.:** Proyecto, Instalación y mantenimiento de la Estación Terrena de Telemetría, Seguimiento y Control (TT&C) del satélite doméstico argentino Nahuel
- **Sistema Nacional Satelital de Búsqueda y Rescate Cospas-Sarsat:** Proyecto, implementación y mantenimiento para Fuerza Aérea Argentina.
- **Redes VSAT corporativas.**
- **Redes de seguimiento de flotas** para Fuerzas de Seguridad.
- **Estaciones VSAT fijas y transportables** para las Fuerzas Armadas y para empresas de petróleo y gas.



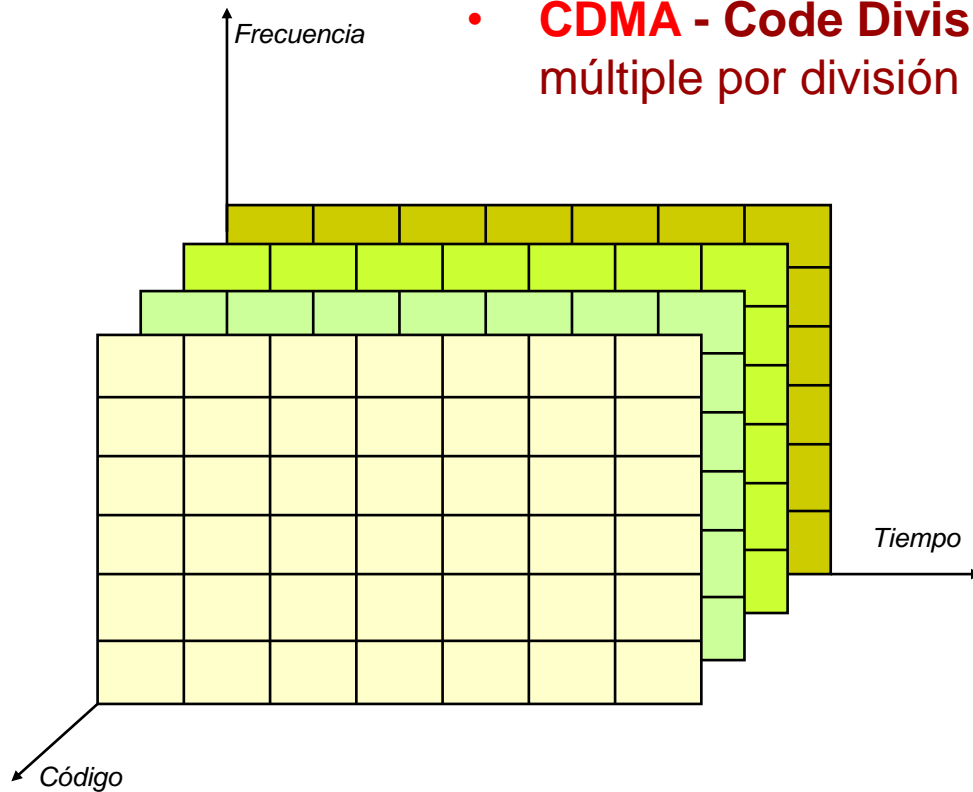


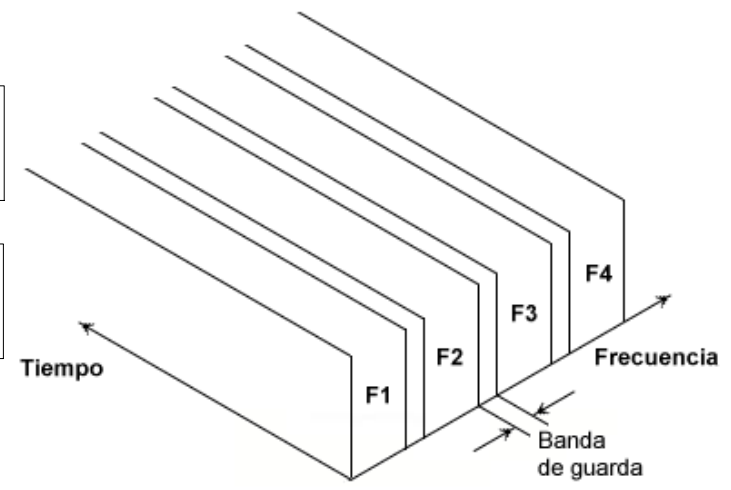
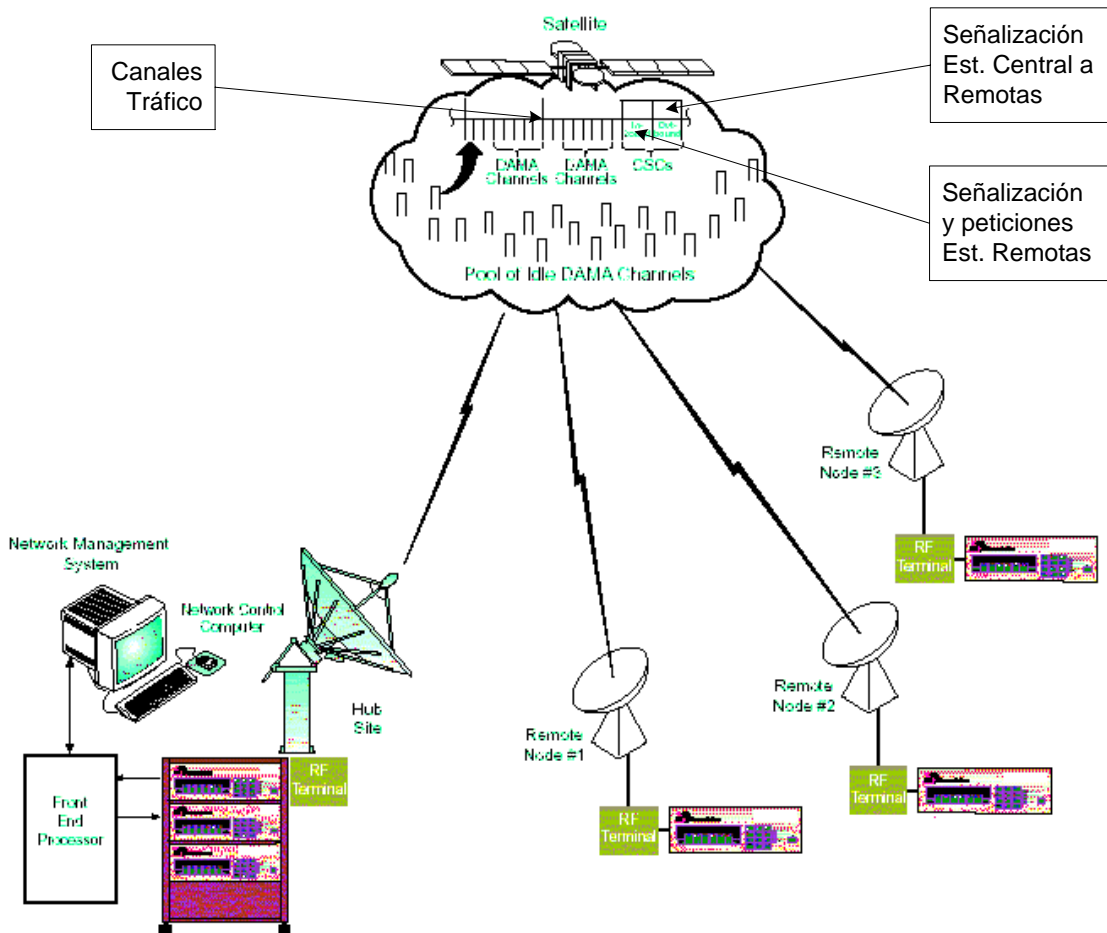
El estado actual



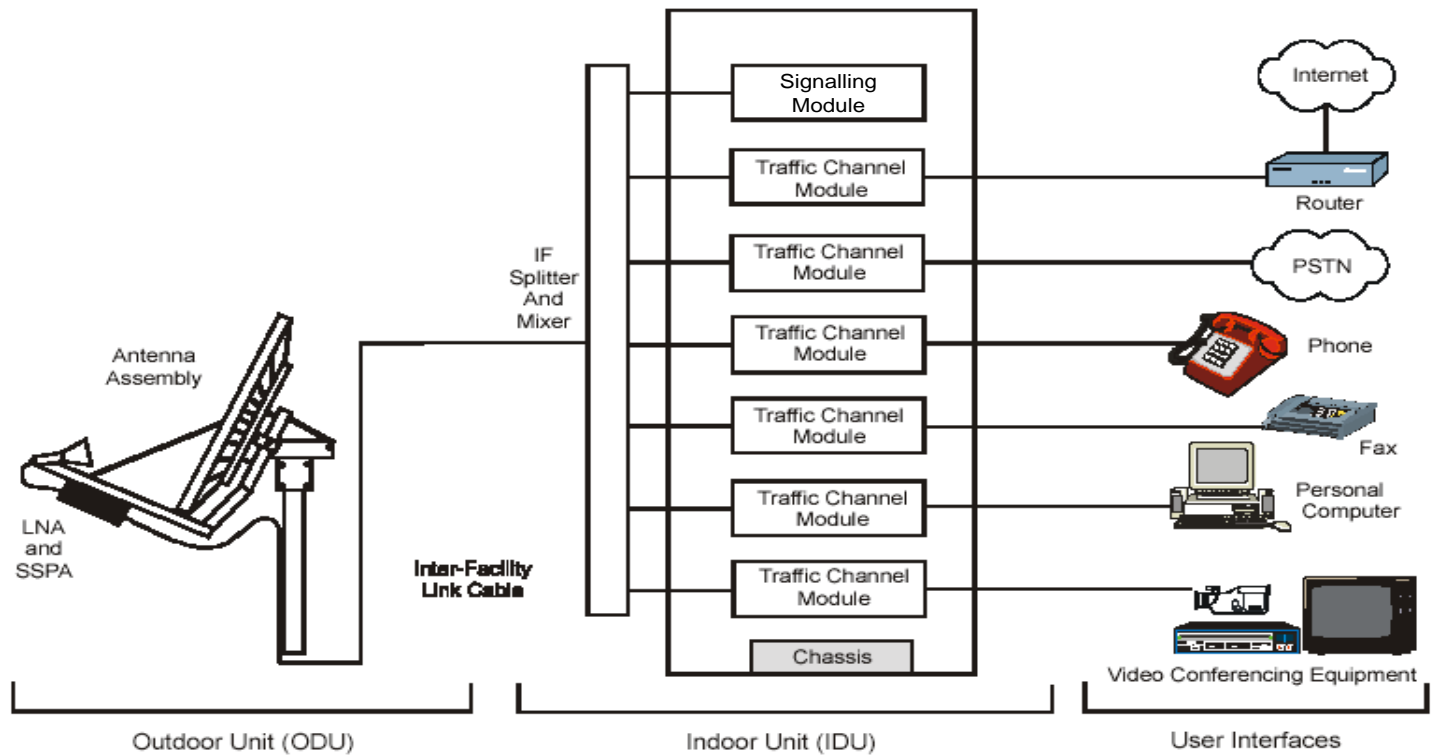


- **FDMA - Frequency Division Multiple Access:** Acceso múltiple por división de frecuencia.
- **TDMA - Time Division Multiple Access:** Acceso múltiple por división de tiempo.
- **CDMA - Code Division Multiple Access:** Acceso múltiple por división de código.

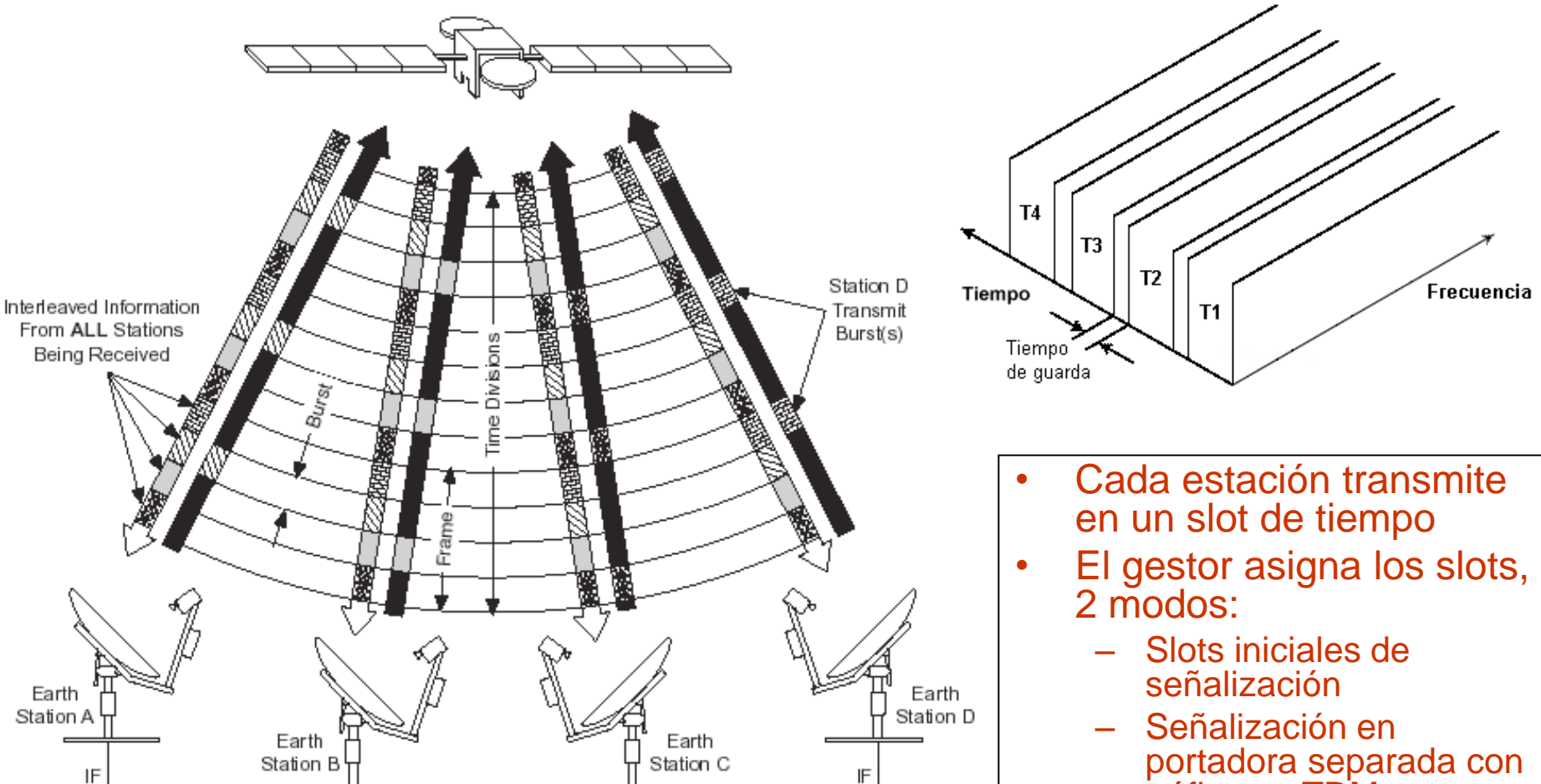




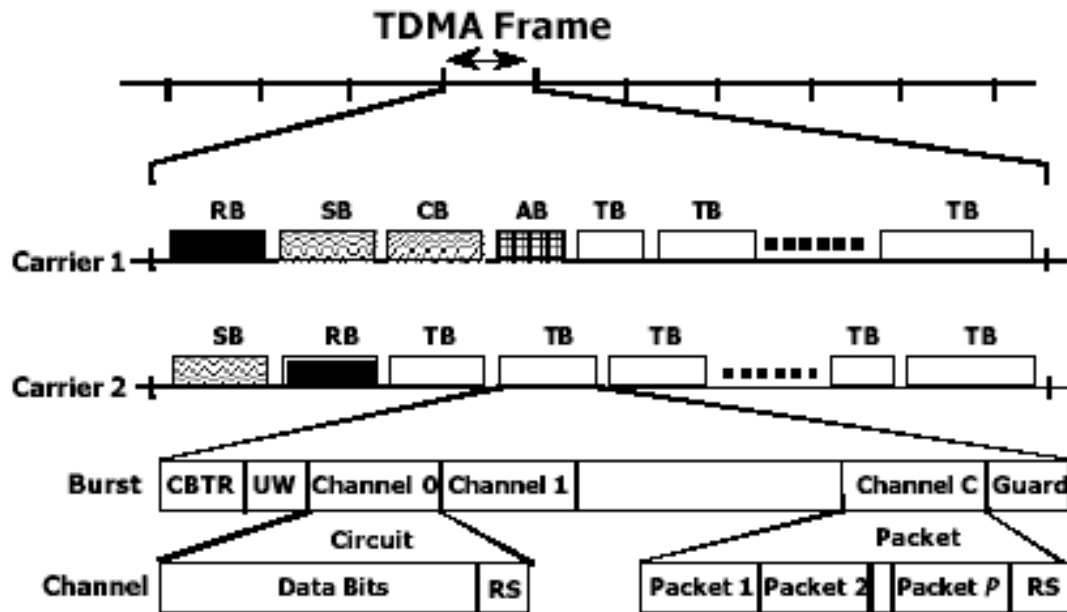
Remotas comparten canal de señalización
A cada canal de tráfico, el gestor asocia una pareja de portadoras



- ✓ **Mejor aprovechamiento del ancho de banda.**
- ✓ **Más barato redes en estrella y bastantes estaciones sencillas (Tradicional sistema para redes telefónicas por satélite).**
- ✗ **La complejidad se incrementa mucho al aumentar la conectividad y conexiones simultáneas**
- ✗ **Menor flexibilidad en la combinación de distintos servicios y priorización**
- ✗ **Mayor tiempo de establecimiento de llamada (Evolución redes paquetes -> Los grandes proveedores cambiaron a MF-TDMA)**



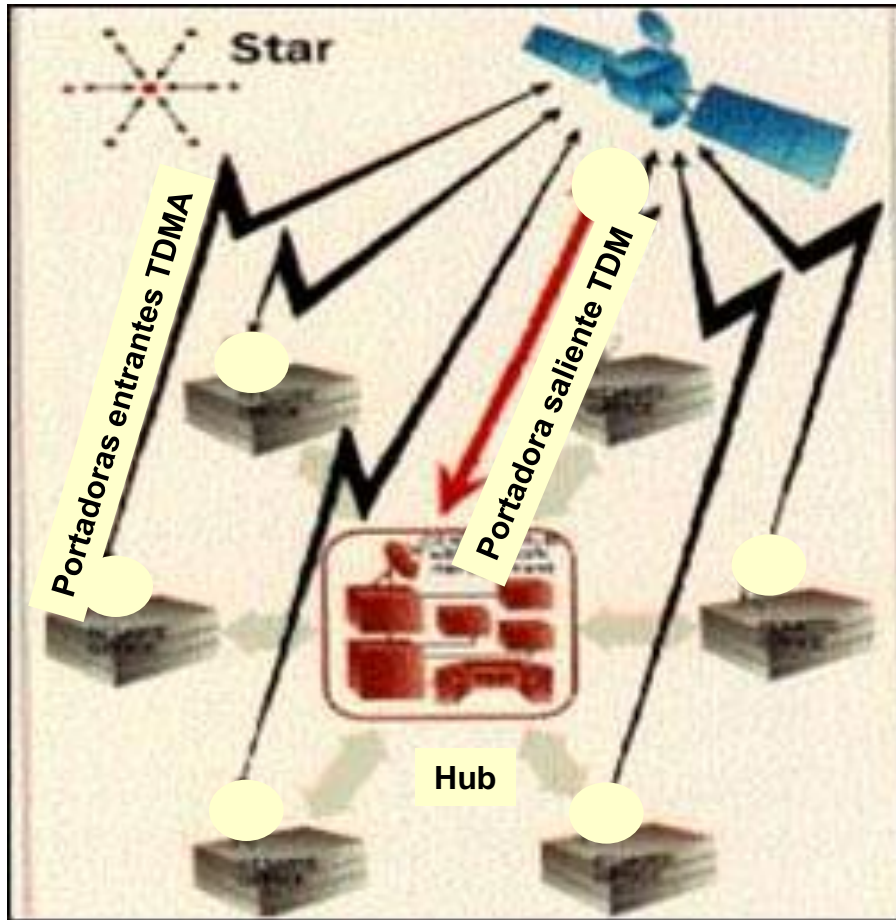
- Cada estación transmite en un slot de tiempo
- El gestor asigna los slots, 2 modos:
 - Slots iniciales de señalización
 - Señalización en portadora separada con tráfico en TDM



- ✓ Técnica más adecuada a las redes de paquetes.
- ✓ Multiplexado estadístico \Rightarrow menor latencia (retardo medio).
- ✓ Flexibilidad inherente para asignación dinámica y topología totalmente mallada sin hub.
- ✗ Peor aprovechamiento del ancho de banda (tiempos de guarda u overhead).

Han evolucionado a dos topologías:

- **“Hubless”**: existe un software gestor de red que puede trabajar en cualquier modem, incluso a veces la inteligencia de la red está distribuida entre los propios modems. Son las redes más flexibles, con **topología totalmente mallada**, a costa de unos modems más complejos y caros y un 25% de overhead en cada portadora TDMA. Usa **una o más portadoras TDMA**.
- **Basada en hub**: topologías principalmente **en estrella** con posibilidad de llegar a malla total o híbridas. La estación hub es más compleja simplificando las remotas. Estas comparten una portadora TDMA (25% OH) pero el hub multiplexa más eficientemente el tráfico hacia todas las remotas en TDM. Típicamente, usa **una portadora saliente TDM** (“outbound”, “forward”) y **varias portadoras entrantes** (“inbounds”, “return links”) TDMA



- **Soluciones basadas en hub:**

- Viasat:** LinkStar

- Gilat:** SkyEdge y SkyEdge II

- Hughes:** DirectWay

- NDSatCom:** SkyVip, SkyArcs

- iDirect:**

- serie iNFINITI: protocolos propietarios para optimización de IP sobre satélite, topologías estrella, malla, híbridas.
- serie eVOLUTION: DVB-S2, topología estrella y/o SCPC; ACM en outbound, Global NMS y Automatic Beam Switching (ABS) (para SOTM).

- **La mayoría de estas soluciones están concebidas para redes medianas a grandes y muchas se basan en IP sobre DVB-S2 para la portadora saliente del hub.**

En los últimos años **iDirect** tuvo un gran crecimiento gracias a ser pionero en*:

- Protocolo propietario de IP por satélite y gestión que permite una eficiencia de la portadora del hub del 98%.
- Aceleración y compresión.
- Gran flexibilidad y dinamismo en la gestión del ancho de banda, excelentes prestaciones en VoIP.
- Mayores capacidades de QoS que otras tecnologías.
- Soluciones escalables que les permiten competir en coste (en algunos casos) incluso con sistemas *hubless* para redes malladas.

- **Soluciones TDMA “hubless”:**

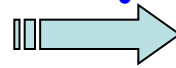
- **Viasat Linkway:** ha evolucionado su solución tradicional Frame Relay hacia IP, muy enfocado al entorno militar, y con su posible integración también en redes grandes basadas en hub (Linkstar).
- **Polarsat VSATPlus 3:** IP nativo, ancho de banda a demanda, BoD, ruteo IP, QoS, soporta VoIP. No soporta FR (para el que mantienen el VSATPlus 2)
- **NDSatCom SkyWan:** menor evolución hacia IP, incorporando funciones de router (con OSPF) manteniendo aún su apuesta por FR con FRSW incorporado y buena integración con FRAD’s soportando las interfaces tradicionales



Problemas

- **Congestión en cola de acceso:**

- Retardo,
- Jitter de retardo.



- **Tamaño variable de paquetes** (*Packet resiliency*): “bloqueo” del enlace por paquetes muy grandes.



- **Consumo de ancho de banda**



- **WAN satelital:** Ancho de banda limitado, retardo de transmisión.



- **Seguridad**



Soluciones

- **Colas inteligentes** en router y en router/modem satelital (QoS).

- **Intercalado, “Fair queuing”.**

- **Compresión:**

- Codecs,
- Detección de actividad de voz (VAD),
- Compresión de “payload” IP.

- **Política de tráfico:**

- BoD,
- Aceleración de TCP.

- **Encriptado** punta a punta, IPSec, firewall.

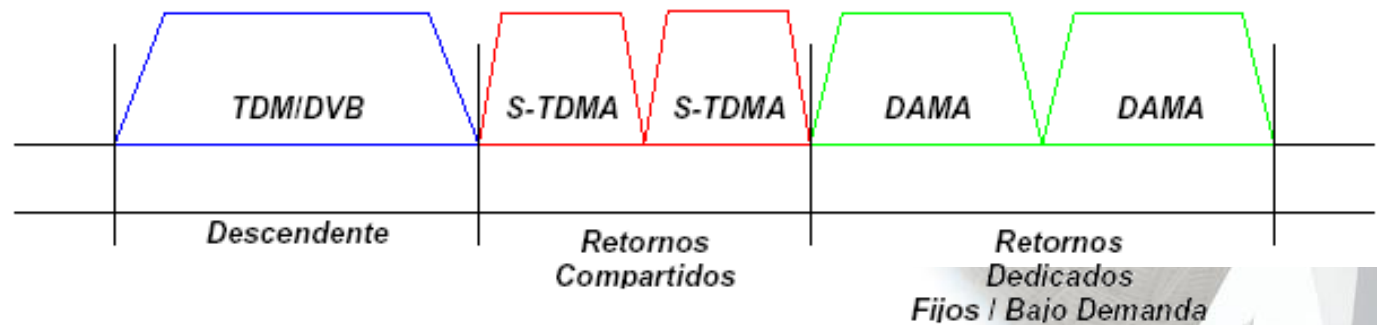
- **FH-TDMA:** TDMA con salto de frecuencia.
- **BoD - *Bandwidth on Demand*:** Ancho de Banda a Demanda
- Funciones de asignación BoD en el nodo de referencia primaria/secundaria: Servidor BoD.
- **No requiere *hardware especial*.** Cualquier estación puede ser el servidor BoD.
- Ancho de banda asignado sobre la base de parámetros CIR (committed IR), EIR (excess IR) fijados para cada estación.
- La estación tiene ancho de banda para cumplir CIR y puede obtener ancho de banda adicional hasta una velocidad máxima CIR + EIR.
- Las reglas CIR, EIR son fijadas por el operador, para cada estación.

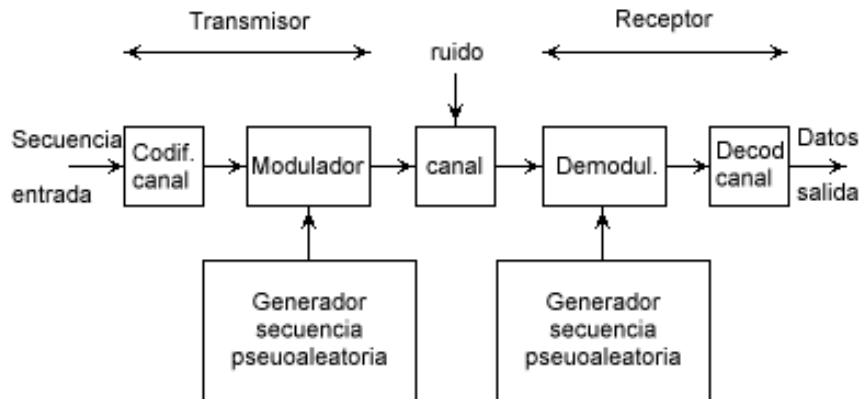
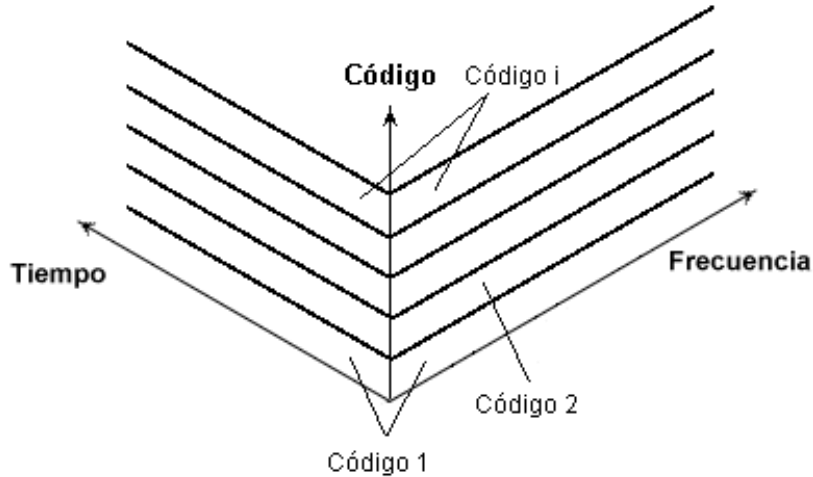


- Se puede asignar **ancho de banda permanente** (similar a SCPC = “*clear channel*”).
- **Aceleración TCP** en todas las estaciones.
- Compresión de encabezado/contenido TCP.
- Interfaz **IP nativa**.
- Ruteo IP en la IDU.
- Soporte de subredes. Definición de máscaras de subred.
- **Calidad de servicio (QoS)** por direcciones, por tipo de servicio (TOS) - DiffServ.
- Fragmentación y re-armado de paquetes para mantener retardos estables y reducir jitter.
- Direccionamiento IP: ARP, RARP, direcciones estáticas.

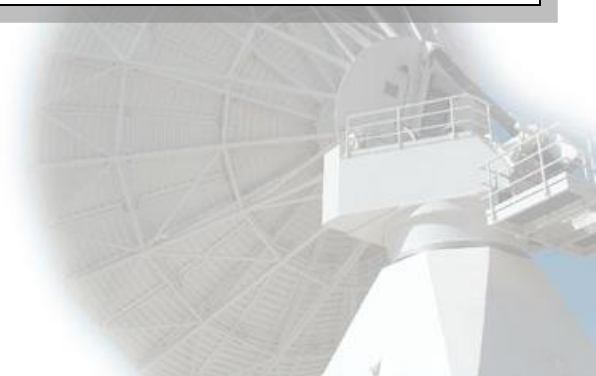


- **Comtech/Vipersat** ofrece una solución híbrida para redes pequeñas:
 - Tráfico de datos en TDMA con conmutación a SCPC para voz y video
 - Muy económica
 - En estrella opción mallada
 - Las prestaciones se degradan muy rápido al aumentar la red (más de 7 a 10 estaciones)
 - Sistema muy sencillo pues se basa en detectar ciertos puertos, por lo que cualquier cambio puede complicarlo o hacerlo inviable (p.ej. introducir criptos).





- Todas las estaciones transmiten en la misma frecuencia y al mismo tiempo pero cada una con un código
- El gestor de red asigna dinámicamente los códigos ortogonales disponibles
- Espectro ensanchado: el ancho de banda se multiplica por el "chip rate"



- ✓ Mayor seguridad de la transmisión, con baja probabilidad de detección e interceptación.
- ✓ Protección anti-jamming.
- ✓ Menor potencia de transmisión.
- ✓ No hay problemas en el reparto del tráfico, una vez asignado un código se transmite todo el bit rate constantemente.
- ✗ Mayor ancho de banda (pobre eficiencia espectral bits/Hz).
- ✗ Modems más complejos y caros.
- ✗ Gestor de red también más caro.

- Poco mercado todavía en comunicaciones por satélite no militares (mucho en telefonía 3G)
- Se utiliza más en constelaciones de satélites LEO, en banda L, y para comunicaciones de baja velocidad
- Los fabricantes de productos TDMA empiezan a suministrar modelos de módems con espectro ensanchado como p.ej. iDirect Evolution serie 8000, Viasat Linkway, como respuesta a la irrupción de los terminales SOTM (Satellite on the Move)
- La empresa **TSI** ¿dispone/disponía? de un sistema CDMA puro, el UltraSAT 3000:
 - ✓ Permite topología mallada, asignación dinámica, protocolo IP y soporta aplicaciones de VoIP y broadcast.
 - ✗ No hay información disponible de aceleración, priorización y QoS en IP.



Avances y tendencias



- **Crecimiento de servicios de información**

- Internet de banda ancha
- VoIP
- DVB-RCS
- Redes IP
- “Streaming” multimedia
- HDTV
- SCADA (Supervisory Control & Data Acquisition)
- Datos de sensores remotos y meteorología
- Acceso directo a radio (DARS)
- Servicios móviles aeronáuticos, marítimos y terrestres
- Servicios móviles 3G de banda ancha, mensajería, “paging”



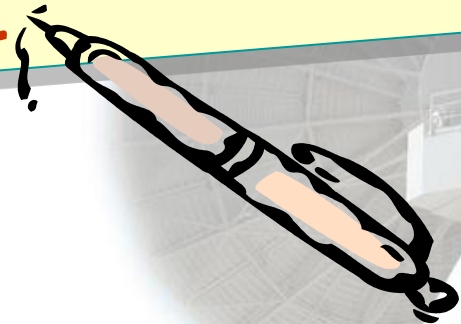
- **Cambios sociales, culturales, políticos, económicos, técnicos**
 - Demanda global de conectividad de banda ancha para acceder a Internet y comercio electrónico.
 - Nuevos standards de telecomunicaciones: permiten integración de todo tipo de servicios digitales.
 - Organizaciones de comercio internacional: WTO, APEC, NAFTA, EU, MERCOSUR, ALCA, ALBA.
 - Desregulación, liberalización, competición en todos los servicios de telecomunicaciones.
 - Competición entre tecnologías: FO, radio, banda ancha inalámbrica, satélite.
 - Demanda de seguridad, confiabilidad, flexibilidad en redes IP.
 - Demanda de nuevas redes malla interconectadas.

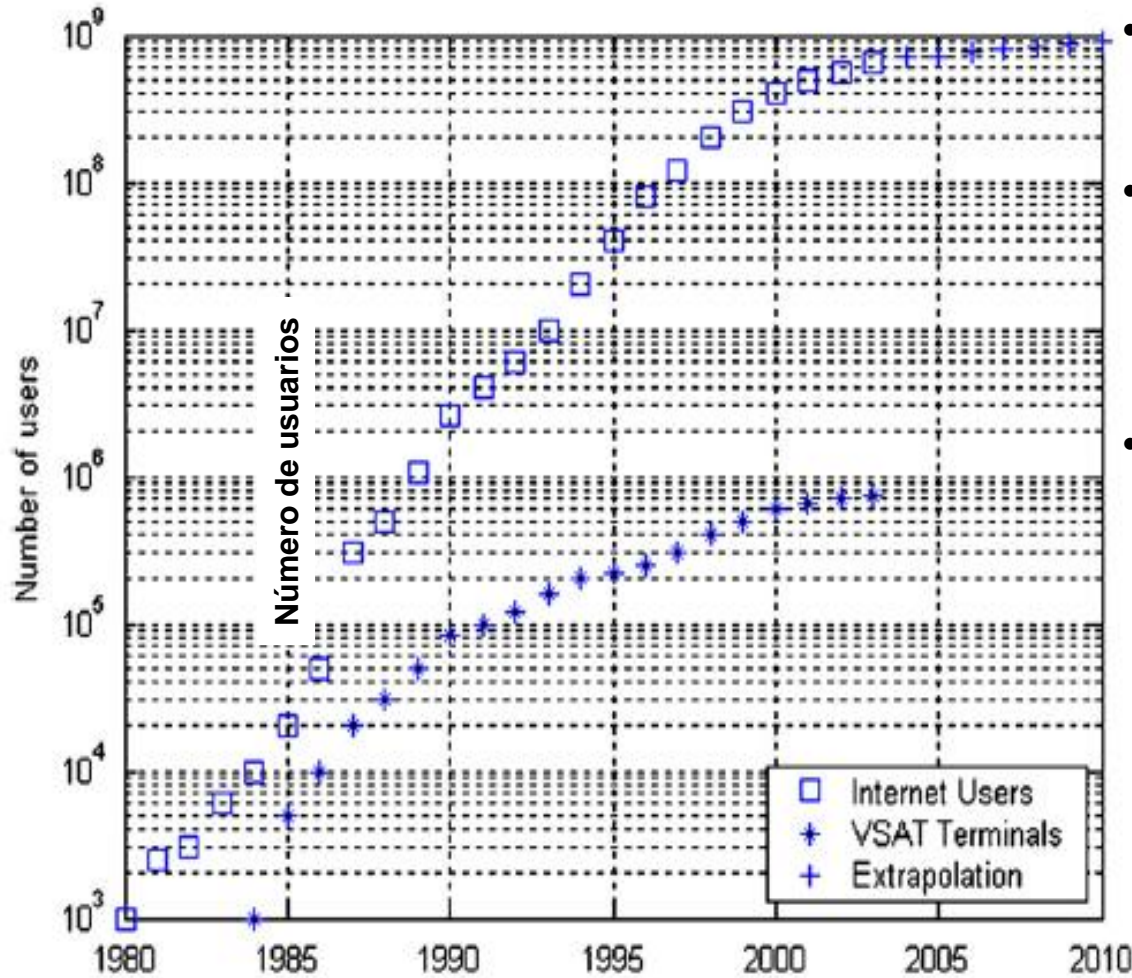


Desde los años 90, la economía está dominada
por las Tecnologías de Información (IT).

La tecnología espacial es estratégica para la
sociedad.

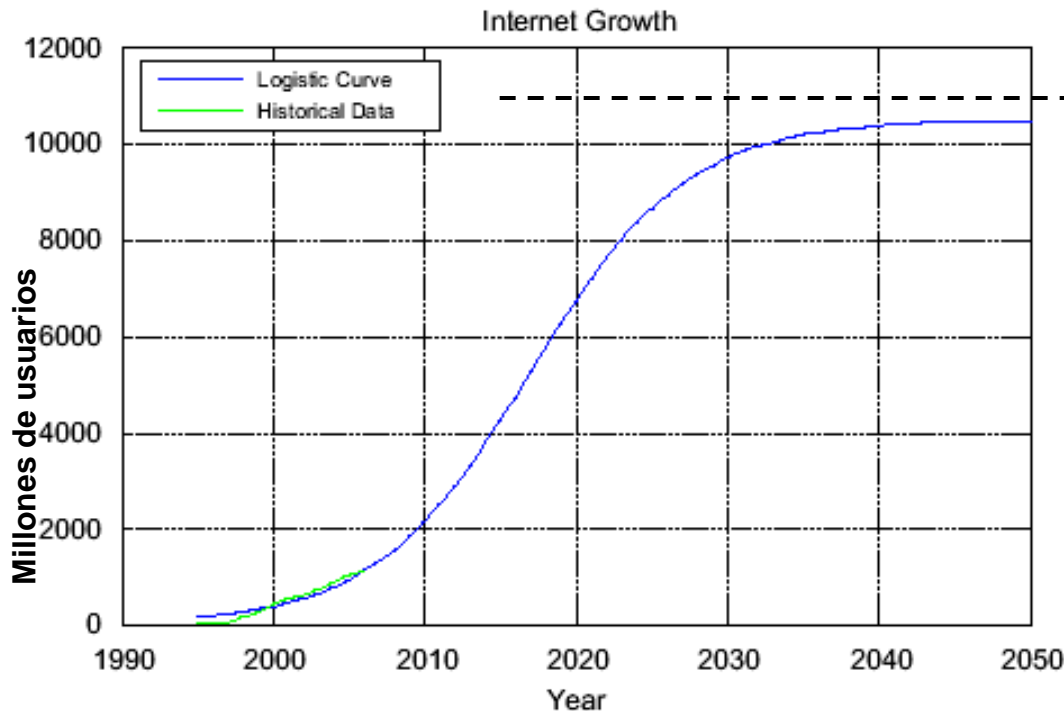
Las comunicaciones espaciales, actualmente,
están dominadas por la difusión de TV,
seguida por el acceso a Internet, con un
mercado global de 7000 MUS\$.





- Hasta 1990, los usuarios de Internet y de VSAT crecían casi a la misma velocidad.
- Después de 1990, los usuarios de Internet comenzaron a crecer más rápidamente que los de VSAT.
- Explicación: en la primera época, Internet y VSATs eran usadas por instituciones de investigación y corporativas. Luego, Internet se difundió por causa de los avances tecnológicos en tecnología de modems. Las VSATs continúan en su mercado inicial, no son un producto masivo al alcance de todos.

Fuente: M. Wittig, *Internet access for everybody: The satellite solution*, Acta Astronautica 64 (2009), pp. 222-229.



Estimación de la población terrestre para 2050: 11 mil millones

Fuente: M. Wittig, *Internet access for everybody: The satellite solution*, Acta Astronautica 64 (2009), pp. 222-229.

BSS – Broadcast Satellite Service (banda Ku).
HD-FSS – High Density Fixed Satellite Service (Banda Ka)

Servicios que apuntan al mercado de acceso satelital a Internet de alta velocidad

Tráfico

Hipótesis

Velocidad media de bajada a un terminal: 100 Kbit/s.
 Población: 3600 millones \cong 1/3 de la población mundial en 2050.
 Contención: **1/50**

Demanda

$$100 \times 10^3 \times 3600 \times 10^6 \times 1/50 = 7,2 \times 10^{12} = 7200 \text{ Gbit/s} = 7,2 \text{ Tbit/s}$$

Satélites

Hipótesis

Separación orbital: 2°
 BW asignado por banda (C, Ku) = 500 MHz

Capacidad de la órbita GEO

Número de ranuras orbitales: $360^\circ/2^\circ = 180$
 A 2 satélites por posición: 360 satélites en la órbita geoestacionaria.
 Eficiencia de uso de transponders (de 54 MHz) = $54/(54+4) = 0,93$
 Capacidad del satélite, por banda, polarización y haz = $500 \text{ MHz} \times 0,93 = 465,5 \text{ MHz}$
 Capacidad del satélite, por banda y haz = $465,5 \times 2 = 931 \text{ MHz}$
 Capacidad de la órbita GEO, por banda y haz = $931 \text{ MHz} \times 360 = 335,2 \text{ GHz}$

Eficiencia espectral orbital

$$7200 \text{ Gbit/s} / 335,2 \text{ GHz} = 21,5 \cong 22 \text{ bit/s /Hz por banda y haz}$$

Eficiencia espectral orbital

$7200 \text{ Gbit/s} / 335,2 \text{ GHz} = 21,5 \cong 22 \text{ bit/s /Hz} \cdot \text{Banda} \cdot \text{haz}$



Eficiencia espectral del haz

3 Bandas disponibles: C, Ku, Ka

$22 \text{ bit/s /Hz} \cdot \text{Banda} \cdot \text{haz} / 3 \text{ bandas} = 7,3 \cong 8 \text{ bit/s /Hz} \cdot \text{haz}$



Nyquist

r_s = velocidad de señalización (symbol rate)

b = bits por símbolo

M = Número de estados de la constelación = 2^b

$$r_s = \frac{1}{T} \leq B$$

Criterio de Nyquist para 0 ISI
(Interferencia Inter-Símbolo)

$$0 < \alpha \leq 1$$

Exceso de ancho de banda o factor de rollof
del filtro de Nyquist

$$\left. \begin{array}{l} r_s(1 + \alpha) = B \\ r_b = br_s = \log_2 M \cdot r_s \end{array} \right\} \Rightarrow r_b = \frac{B \log_2 M}{1 + \alpha}$$

$$\nu := \frac{r_b}{B} = \frac{\log_2 M}{1 + \alpha}$$

Eficiencia espectral, medida en bit/s / Hz

$$M = 2^{(1+\alpha)\nu}$$

$$2^\nu < M \leq 2^{2\nu}$$

$$2^8 = 256 < M \leq 2^{16} = 65.536$$

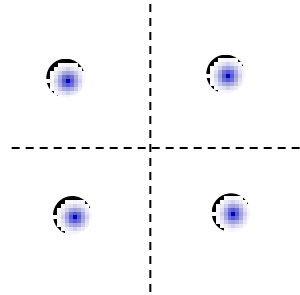


4-PSK

$M = 4$

$b = 2$ bits/símbolo

$1 < v \leq 2$ bit/s / Hz

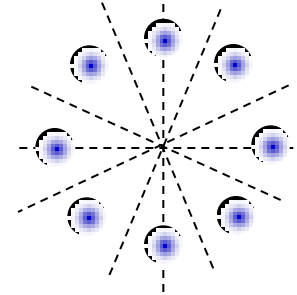


8-PSK

$M = 8$

$b = 3$ bits/símbolo

$1,5 < v \leq 3$ bit/s / Hz

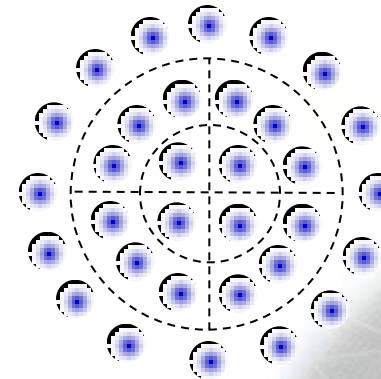
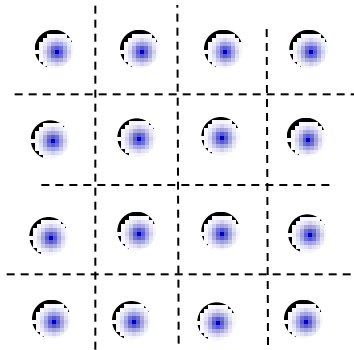


16-QAM

$M = 16$

$b = 4$ bits/símbolo

$2 < v \leq 4$ bit/s / Hz



32-APSK

$M = 32$

$b = 5$ bits/símbolo

$2,5 < v \leq 5$ bit/s / Hz

4-PSK es el esquema más común, en general es el compromiso óptimo entre uso de potencia y ancho de banda.

8-PSK es utilizado para ahorrar ancho de banda cuando hay potencia disponible.

Los esquemas **PSK** son insensibles a la no linealidad del transponder, pues las fronteras de decisión dependen de la fase y no de la amplitud.

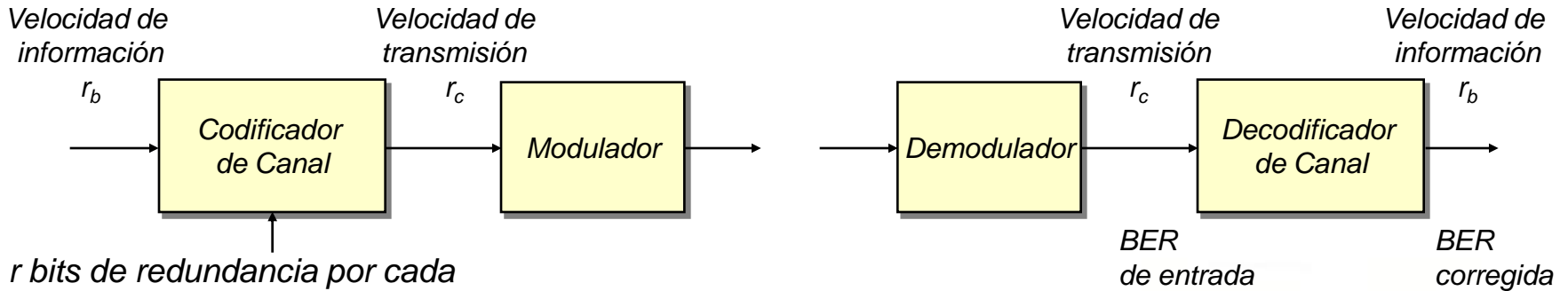
16-QAM es el esquema **M-QAM** más complejo usado en la práctica, pues es muy sensible a la no linealidad del transponder

16 y 32-APSK son espectralmente eficientes y más robustos ante no linealidades de amplitud. Se aplica pre-distorsión a los símbolos transmitidos, evitando altos valores de backoff de entrada y salida (IBO / OBO) del transponder.

- El concepto de APSK circular y su utilidad en canales no lineales fue propuesto inicialmente en 1974. En ese momento, los esquemas M-PSK demostraron mejor performance que M-APSK.
- Investigación posterior mejoró los diseños APSK.
- Recientemente, 16- y 32-APSK es el “estado del arte” en los sistemas más avanzados.



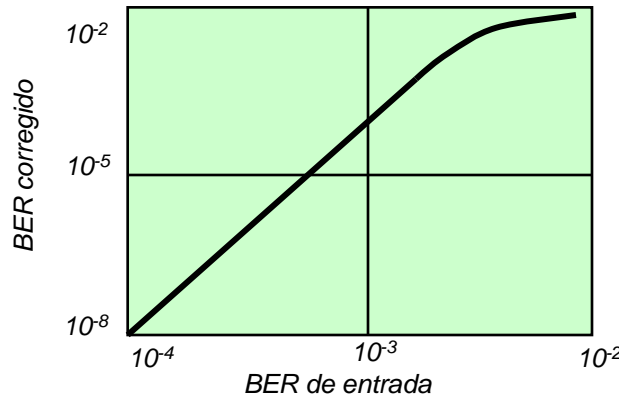
- Ha sido adoptado en los siguientes standards comerciales de broadcasting de video:
 - **DVB-S2 (Digital Video Broadcasting via Satellite – 2ª generación).** Standard ETSI para *forward link* para sistemas de video broadcasting digital que operan en bandas Ku (12/14 GHz) y Ka (20/30 GHz).
 - **DVB-SH (DVB via Satellite to Handheld devices).** Standard ETSI para *forward link* de sistemas de video broadcasting digital que operan en bandas L (1/2 GHz) y S (2/4 GHz). Para usuarios móviles.
 - **IPOs (Internet Protocol Over Satellite).** Standard ETSI para redes satelitales de banda ancha, que es, esencialmente, DVB-S2 con ACM (Adaptive Coding and Modulation) en el *forward link*. Adoptado por los fabricantes más importantes de redes satelitales interactivas.
 - **ABS-S (Advanced Broadcasting System via Satellite):** Standard chino para *forward link* en sistemas de video broadcasting digital en banda Ku. Principalmente para DTH a usuarios fijos.



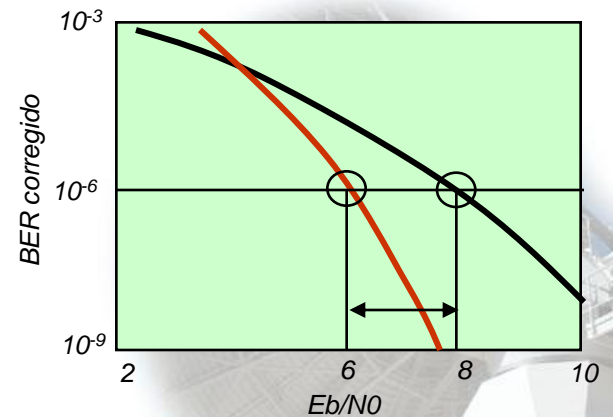
r bits de redundancia por cada k bits de información

Razón del código: $\rho = \frac{k}{k+r} < 1$ ←

$r_c = r_b / \rho > r_b$ ←



Relación entre BER de entrada y BER corregida



Ganancia de codificación $G_c(\rho) > 1$

Hartley

$M = 1 + S/N$ Ley de Hartley

$S/N =$ Relación señal//ruido

$E_s =$ Energía del símbolo

$E_b =$ Energía del bit

$N_0 =$ Densidad espectral de potencia de ruido

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{N_0 B} = \frac{ST}{N_0} = \frac{E_s}{N_0} = \frac{bE_b}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} \log_2 M$$

$$\left. \begin{aligned} r_s(1 + \alpha) &= B \\ r_b &= r_s \log_2 M = r_s \log_2(1 + S/N) \end{aligned} \right\} \Rightarrow r_b = \frac{1}{1 + \alpha} B \log_2 \left(1 + \frac{E_b}{N_0} \log_2 M \right)$$

Con codificación correctora de errores :

$$\left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{\text{no corregido}} = G_c(\rho) \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{\text{corregido}}$$

$$\left. \begin{aligned} r_c &= \frac{r_b}{\rho} \\ r_c &= \frac{B}{1 + \alpha} \log_2 \left[1 + \frac{E_b}{N_0} G_c(\rho) \log_2 M \right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow r_b = \frac{\rho}{(1 + \alpha)} B \log_2 \left[1 + \frac{E_b}{N_0} G_c(\rho) \log_2 M \right]$$

$$\nu := \frac{r_b}{B} = \frac{\rho}{(1 + \alpha)} \log_2 \left[\frac{E_b}{N_0} G_c(\rho) \log_2 M \right]$$

Objetivo:
Maximizar $G_c(\rho)$ para ρ fijo.

Shannon: Teorema de codificación del canal con ruido

Dado un canal con ruido de capacidad C , si $r_b < C$, existe un código que hace la probabilidad de error arbitrariamente pequeña.

Shannon-Hartley: Teorema de la capacidad del canal

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

Códigos tradicionales

Secuencial / Viterbi FEC 1/2, 3/4, 7/8, 1

Reed Solomon: Mayor ganancia con menor redundancia (mayor ρ)

Últimos avances en codificación

TPC: Turbo Product Coding $5/16 < \rho < 0,95$

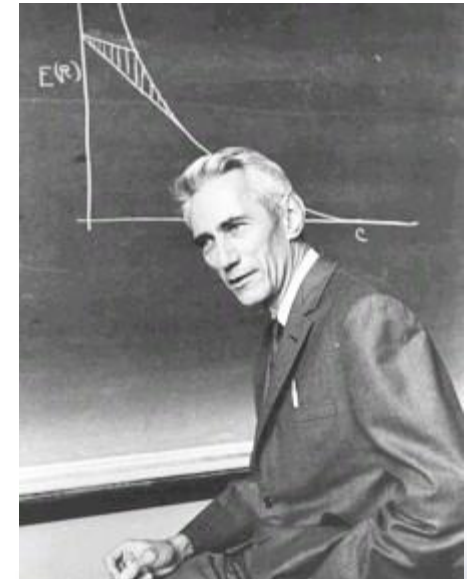
LDPC: Low Density Parity Check

*Los códigos **TPC** y **LDPC** se acercan al límite teórico de Shannon.*

LDPC fue propuesto en 1962 por Gallager. En esa época, era imposible implementarlo, por su complejidad.

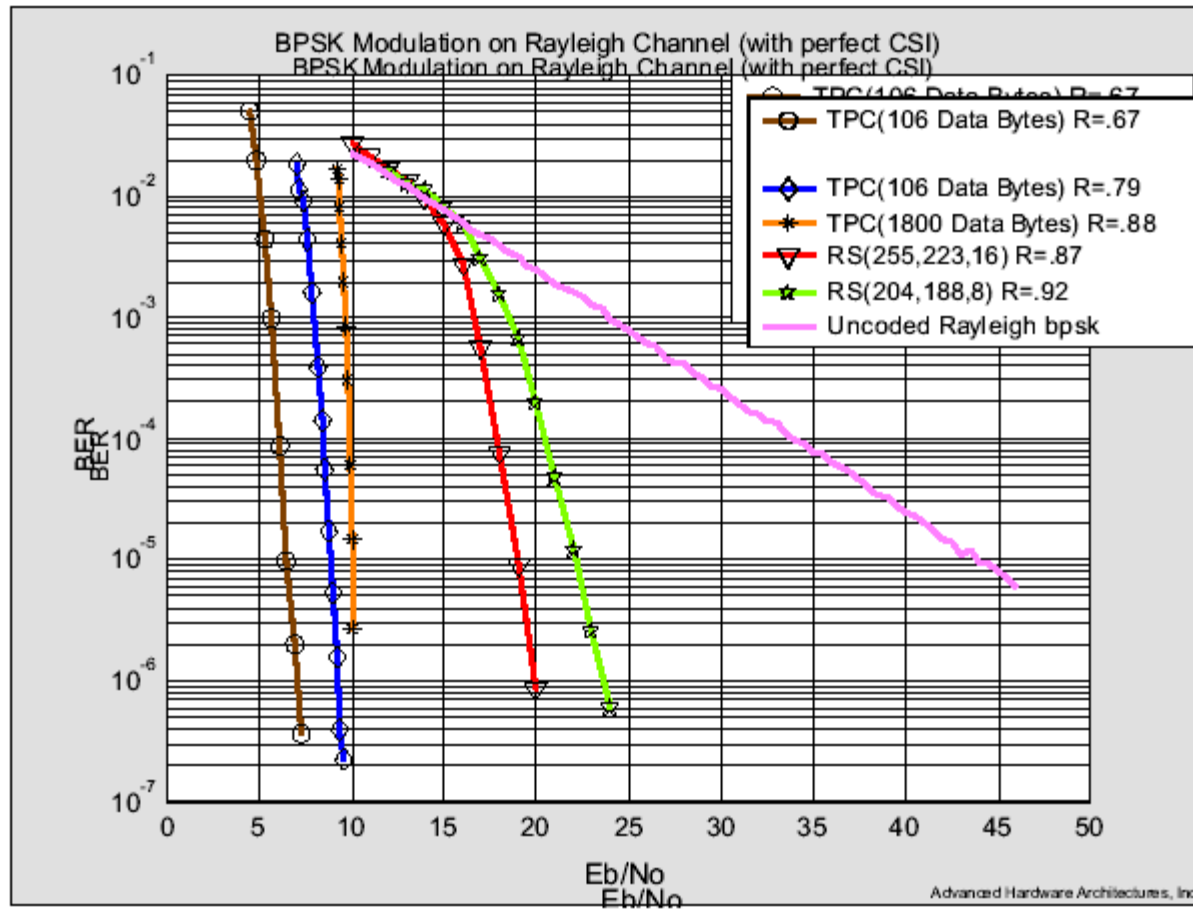
Recientemente, ello ha sido posible por

- *Desarrollo de circuitos integrados baratos y de alta velocidad.*
- *Desarrollo de decodificadores LDPC en FPGA.*

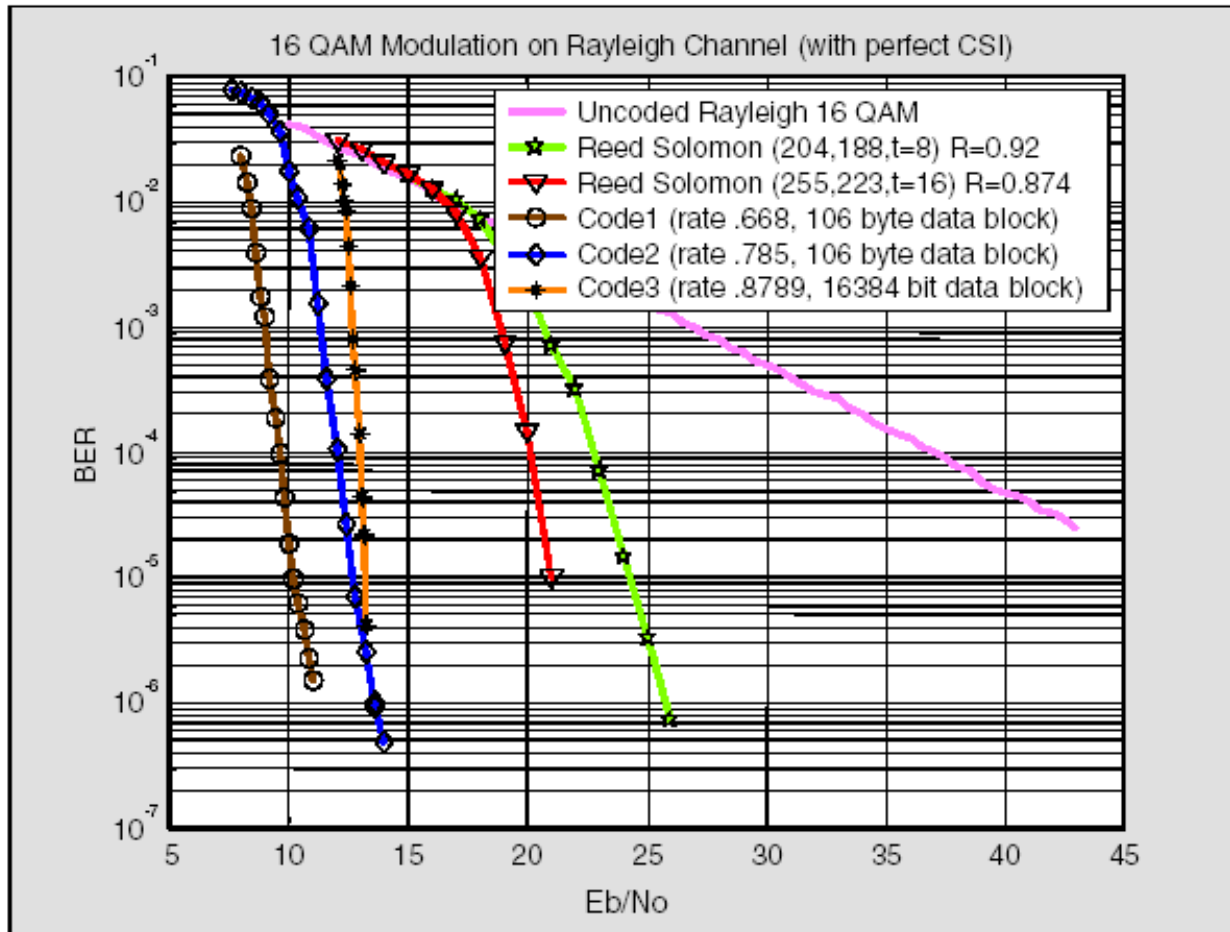


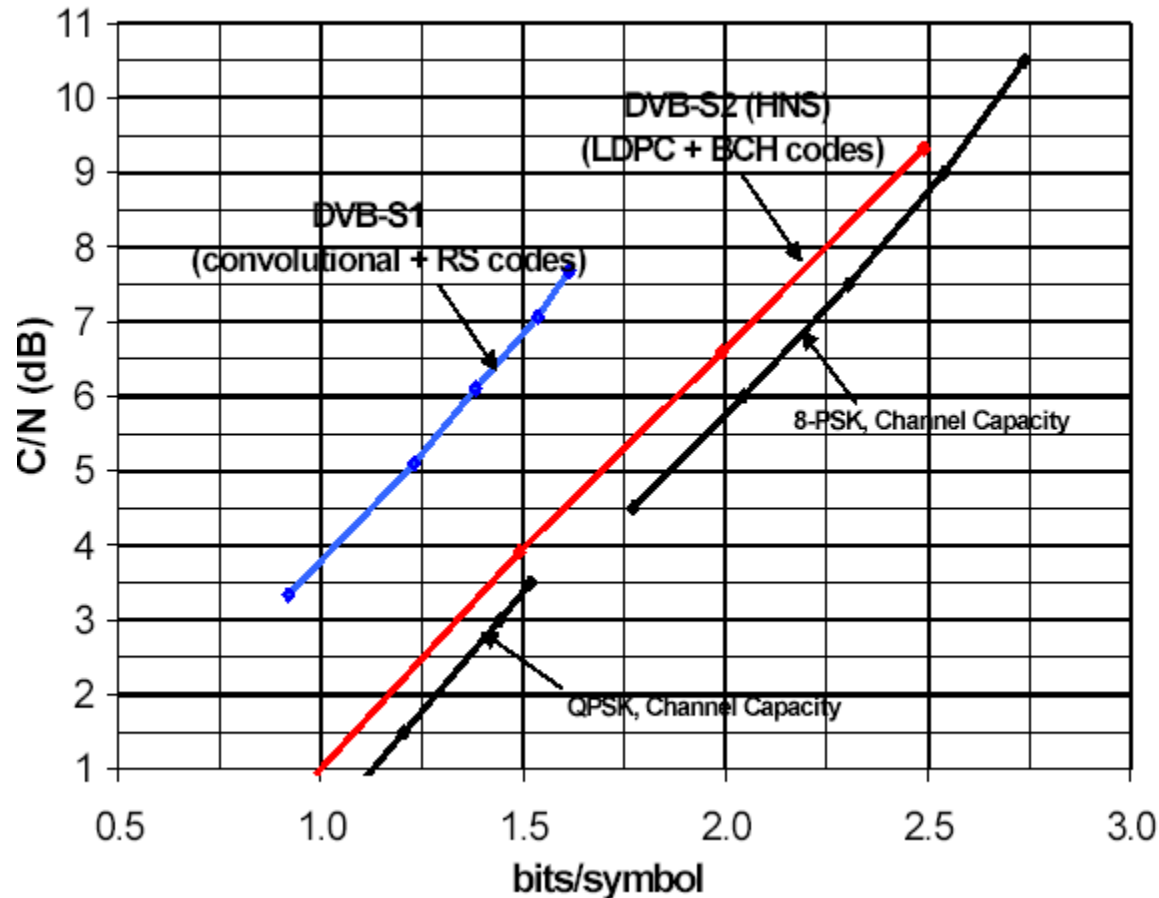
Claude Elwood Shannon (1910 – 2001). Padre de la teoría moderna de la comunicación. Estableció el concepto de la **capacidad de canal** en su trabajo de 1948 **Una Teoría Matemática de la Comunicación.**

BPSK Performance in a Rayleigh Channel



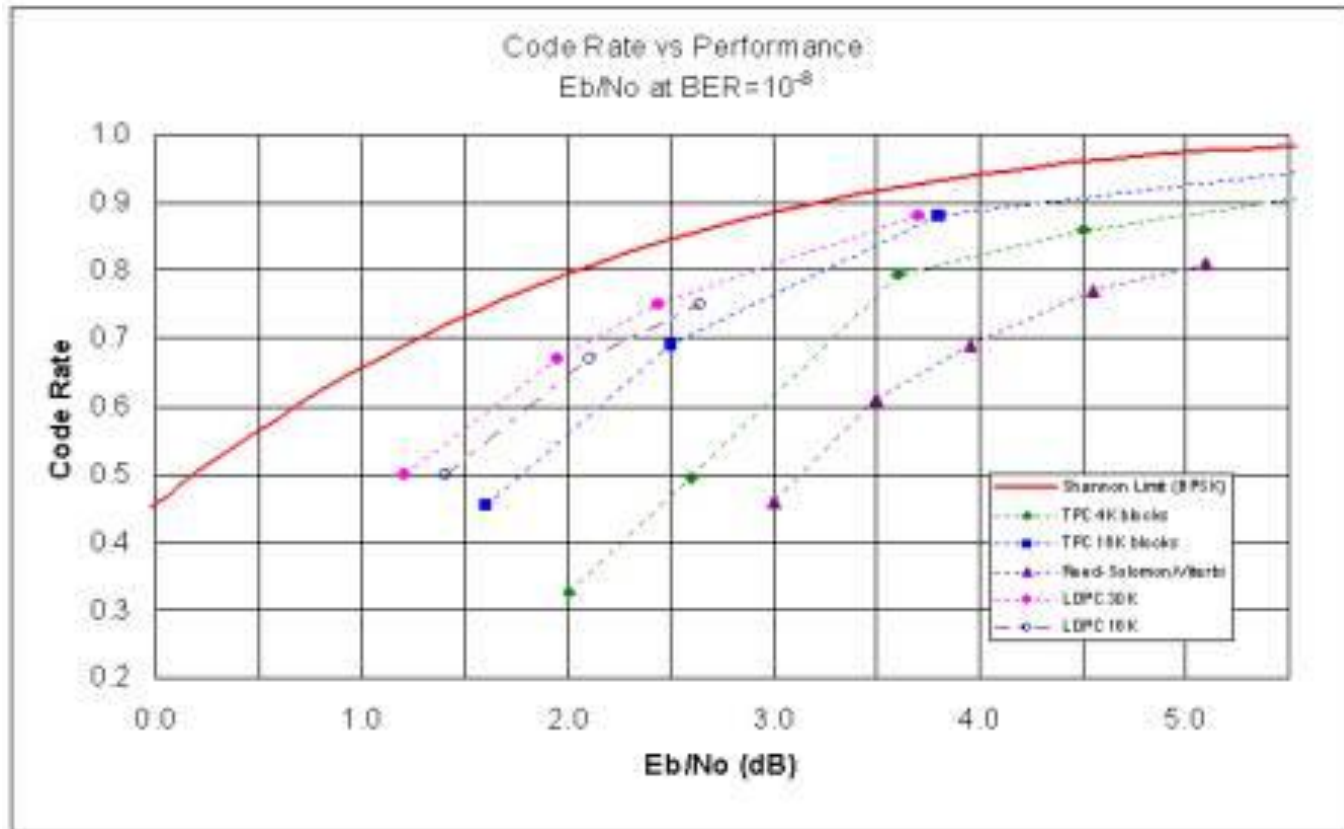
16 QAM Performance in a Rayleigh Channel

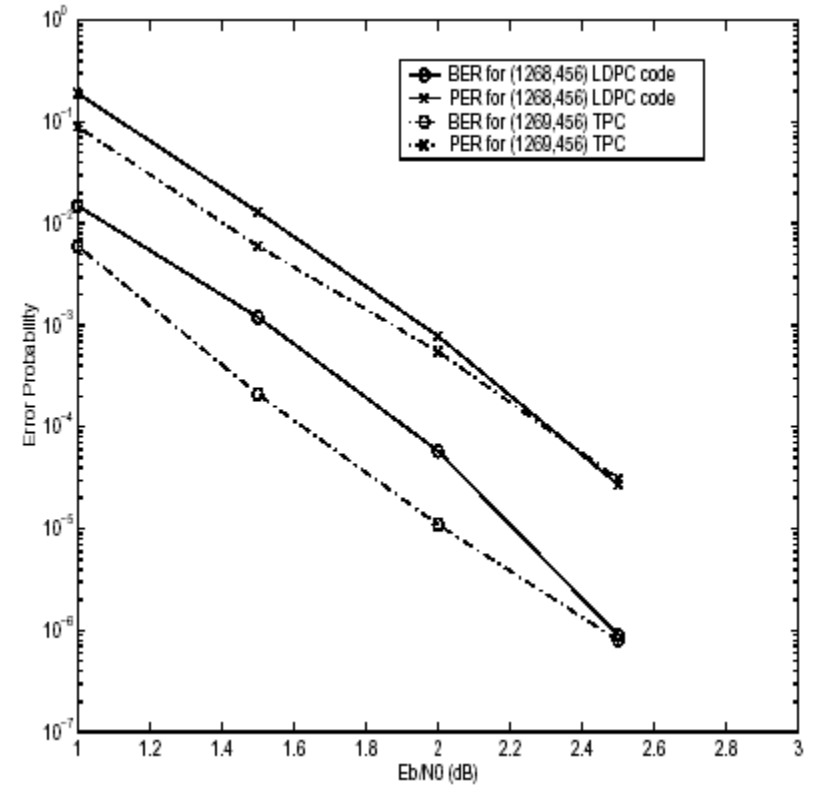
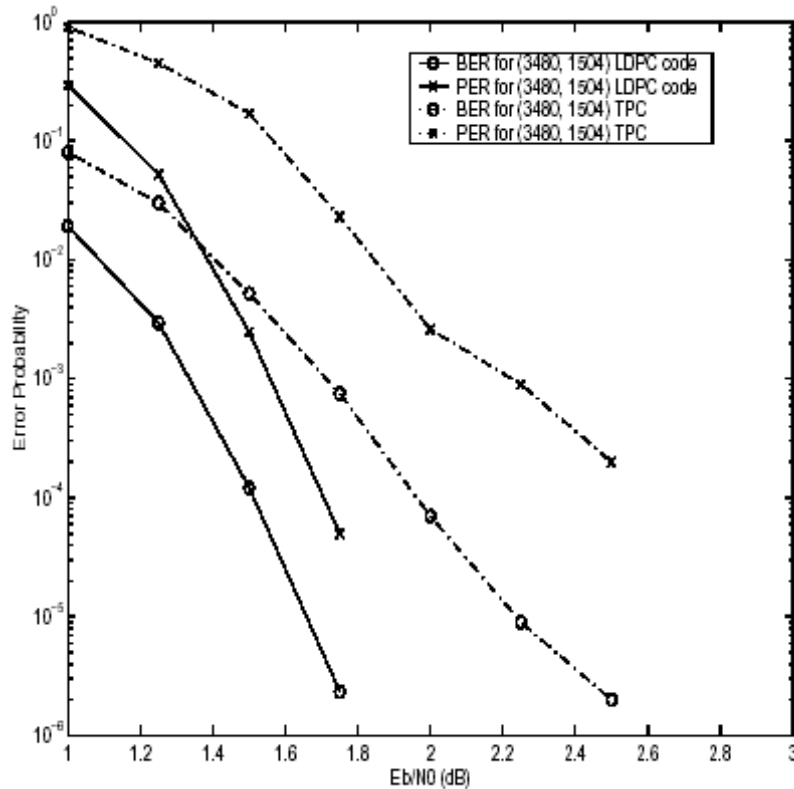




- ◆
- ◆
- A 0,6 – 0,8 dB del límite de Shannon.
- Ganancia aproximadamente 2,5 a 3,0 dB 0,3 dB mayor que TPC en DBV-S2, implica throughput 30% mayor.
- ◆
- No se esperan mejoras de performance por décadas.
- Los códigos más eficientes pueden agregar retardo excesivo.
- ◆

Fuente: Lin-Nan Lee (HNS), LDPC Codes, Application to Next Generation Communication Systems, Germantown, 2003.





Fuente: Y. Mao, A. Banihashemi, M. Landolsi, *Comparison between Low-Density Parity-Check Codes and Turbo Product Codes for Delay and Complexity Sensitive Applications*

• Problemas abiertos en LDPC

- Códigos LDPC con performance casi ideal (near-capacity performance): Palabras de código muy largas, muchas iteraciones.
- Objetivo: Códigos LDPC con palabras de código relativamente cortas: $\rho \cong 1$, codificación más sencilla.
- Códigos LDPC para sistemas OFDM y MIMO.

• Problemas abiertos en TPC

- Determinar exactamente el efecto de los parámetros del código sobre la performance.
- Desarrollar métodos analíticos para predecir la performance.





- **Codificación de Fuente**
 - Redes neuronales como cuantizadores vectoriales para compresión de imágenes.
 - Compresión fractal de imágenes.
- **Codificación de Canal**
 - Redes neuronales como “*soft decoders*”
 - Teoría del Caos aplicada a modulación, encriptado y CDMA.
- **Capas física y MAC**
 - Modelos de canal MIMO (Multi-Input-Multi-Output) para canales satelitales.

■ ■ ■



QPSK

M=4

$\alpha=0,3$

$\frac{1}{2} < \rho < \frac{7}{8}$

$$\nu = \frac{\rho}{1 + \alpha} \log_2 M$$

$$0,77 < \nu < 1,35$$

32-APSK

M=32

$\alpha=0,3$

TPC: $\frac{1}{2} < \rho < 0,95$

LDPC: $\frac{1}{2} < \rho < \frac{3}{4}$

$$1,92 < \nu < 3,65 \quad \text{TPC}$$

$$1,92 < \nu < 2,88 \quad \text{LDPC}$$

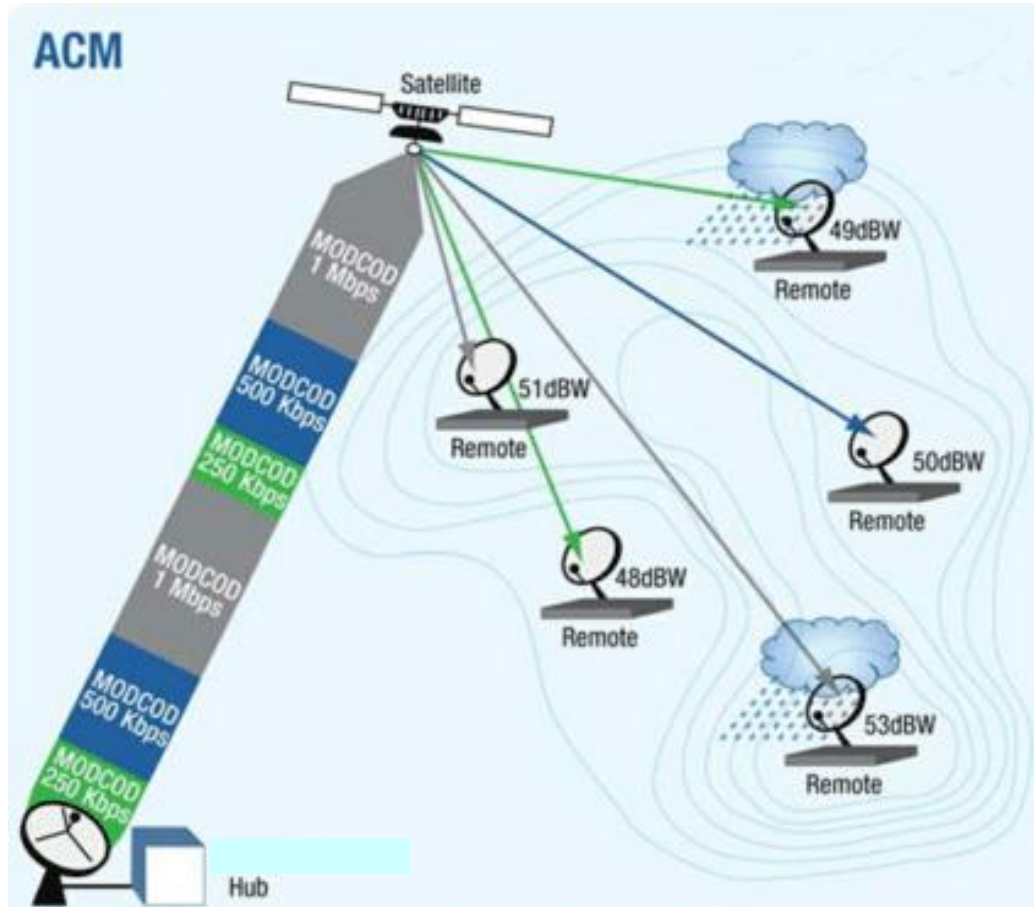


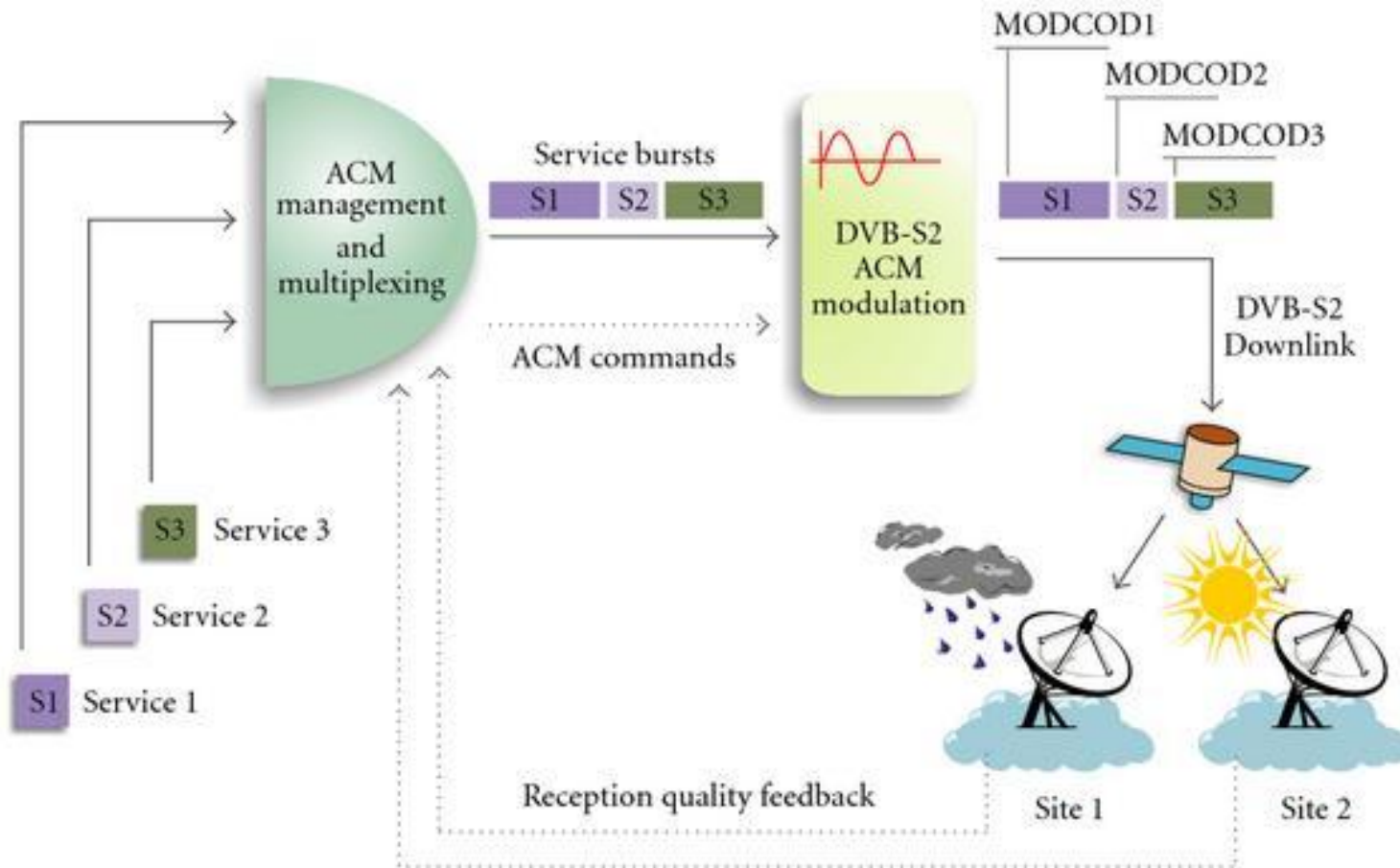
Consecuencia de este análisis:

Los esquemas más avanzados de modulación y codificación, aún están lejos de satisfacer la eficiencia espectral global deseada.

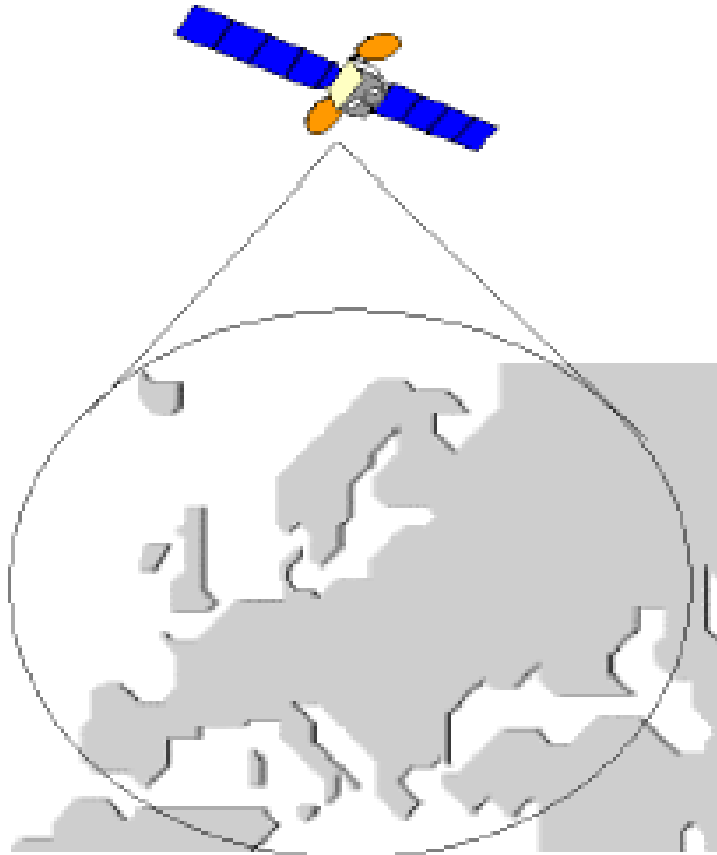
Se necesitan más nuevas ideas y más esfuerzo I+D.

ACM: Adaptive Coding/Modulation

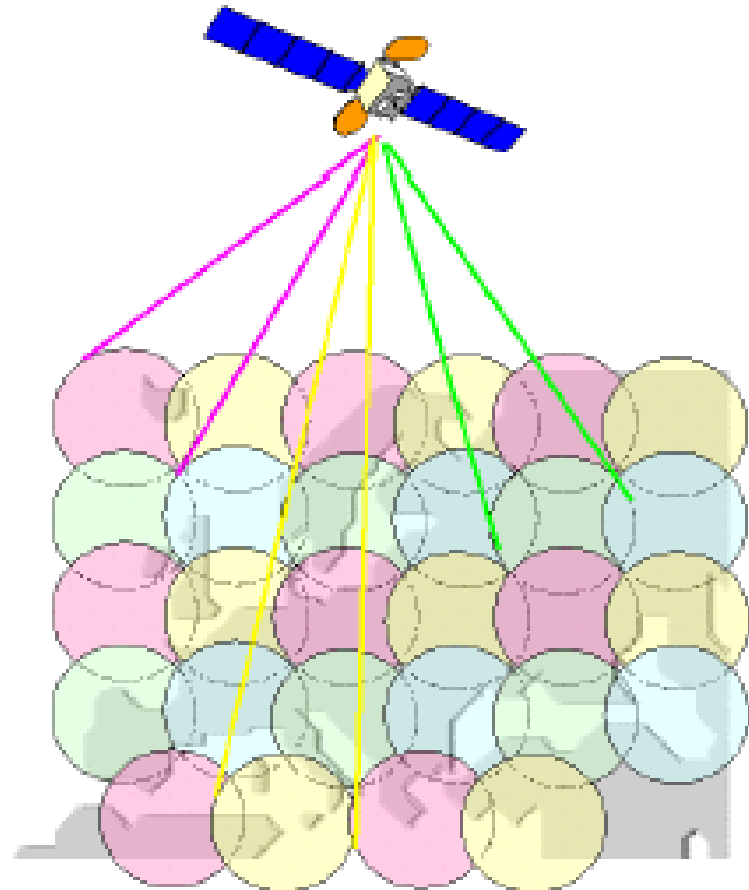




Problema: ACM se usa actualmente en la portadora forward DBV-S2, no en las de retorno, ni en portadoras hubless TDMA.



**Cobertura regional de haz único.
Sin re-uso de frecuencia**



**Cobertura regional multi - haz.
Re-uso de frecuencia**

Fuente: J. D. Gayraud, *Terabit Satellite: Myth or Reality?* IEEE 2009 1st
International Conference on Advances in Satellite and Space Communications

- La cobertura multi-haz permite reutilizar la misma sub-banda de frecuencias varias veces en la misma región.
- La banda asignada se divide en 3 o 4 sub-bandas (“colores”).
- El ancho de banda utilizable aumenta en la misma proporción.
- Límite práctico:
 - Limitaciones en tamaño de antena del satélite.
 - Aislación inter-haz.
 - Precisión de apuntamiento.



- Tecnologías terrestres y espaciales: **No son un juego de suma cero** cuando se trata de comunicaciones y redes IT.
- Crecen a la par ofreciendo servicios complementarios.
- La tecnología satelital crece desde 1960.
- Avances en
 - Sistemas de energía.
 - Estabilización y apuntamiento.
 - Diseños complejos de antenas.
 - Terminales de usuario económicos.
 - Nuevas bandas de frecuencia.
 - Métodos avanzados de modulación, codificación y acceso.



- Prevalece la idea que los repetidores en el satélite seguirán siendo “**transparentes**” (“bent pipe”), pues los repetidores **regenerativos** no se prestan para armar la “malla total en el cielo”, y es más sencillo y económico cambiar la tecnología de los modems terrestres que la embarcada.
- La tecnología de modems parece evolucionar hacia una plataforma de hardware única con FPGA (*Field Programmable Gate Array*), de modo que las nuevas capacidades puedan ser incorporadas mediante actualizaciones de firmware, con opciones que se puedan cambiar por software (pagando eventuales licencias).



- La industria de comunicaciones espaciales ha **permanecido** a lo largo del tiempo, en el sentido que
 - Ha **acompañado** la aparición y desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios.
 - Ha **crecido** como la demanda mundial de servicios avanzados de telecomunicaciones, compitiendo con tecnologías de FO, radioenlaces de banda ancha y acceso inalámbrico.
 - **Se mantiene** así como factor esencial en el desarrollo de las tecnologías y aplicaciones IT, **favoreciendo la inclusión social y disminuyendo la brecha digital en todo el mundo.**
- En este sentido...



Plus ça change, plus c'est la même chose

Cuanto más cambian las cosas, más permanecen como están

(Jean-Baptiste Alphonse Karr, 1808-1890)



¡Muchas gracias por su atención!

