

### Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Tema que se va a presentar



	BLOQUE	TÍTULO				
	BLOQUE I	Introducción a las Comunicaciones Ópticas				
	BLOQUE I	La transmisión de información por enlaces básicos de comunicación por fibra óptica				
	I.1	Generación de la portadora: fuentes de luz				
	I.2	Modulación de la portadora óptica con la información				
I.3 Multiplexación de varias fuentes de informa		Multiplexación de varias fuentes de información				
	I.4	Transmisión de información por la fibra óptica				
	I.5	La detección de la información: receptores ópticos				
	I.6	Componentes activos y pasivos				



### Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Tema que se va a presentar



BLOQUE	II.3. Multiplexación de varias fuentes de información
Objetivos	<ul> <li>Se pretende que el alumno sea capaz de:</li> <li>Distinguir claramente entre la multiplexación en el dominio óptico y en el dominio eléctrico</li> <li>Explicar las bases de las diferentes formas de multiplexación óptica</li> <li>Argumentar cuál son los motivos de los diferentes desarrollos comerciales de las técnicas de multiplexación en el dominio óptico</li> <li>Detallar cuáles son las combinaciones habituales de mux. eléctrica y mux. óptica en los diferentes tipos de redes de comunicación</li> </ul>
Duración	1 hora
Programa	Introducción Multiplexación eléctrica Tiempo (TDM) Frecuencia (SCM) Multiplexación óptica Longitud de onda (WDM) Tiempo (OTDM)



- Introducción
- Multiplexación eléctrica
  - En el dominio del tiempo, TDM
  - En el dominio de la frecuencia, SCM
- Multiplexación óptica
  - En el dominio del tiempo, OTDM
  - En el dominio de la frecuencia, WDM
  - Otras opciones
- Alternativas más usuales
- Resumen y conclusiones



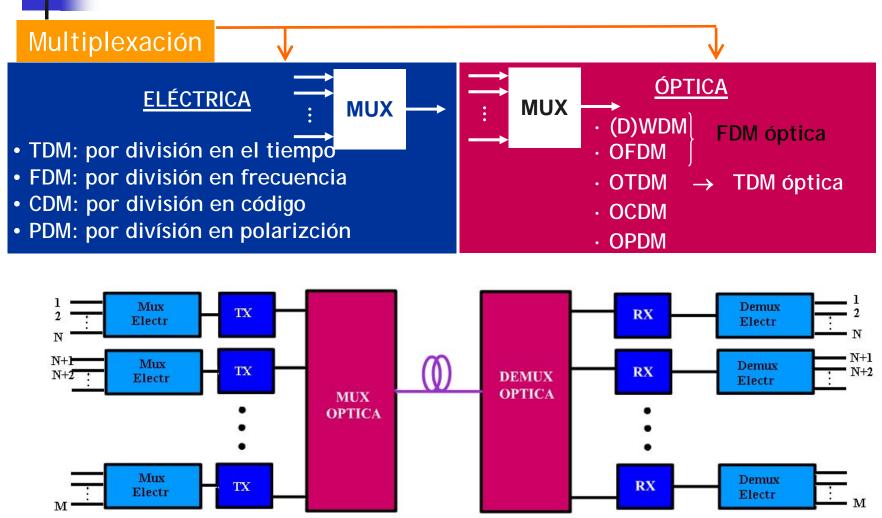


#### Introducción

- Multiplexación eléctrica
  - En el dominio del tiempo, TDM
  - En el dominio de la frecuencia, SCM
- Multiplexación óptica
  - En el dominio del tiempo, OTDM
  - En el dominio de la frecuencia, WDM
  - Otras opciones
- Alternativas más usuales
- Resumen y conclusiones







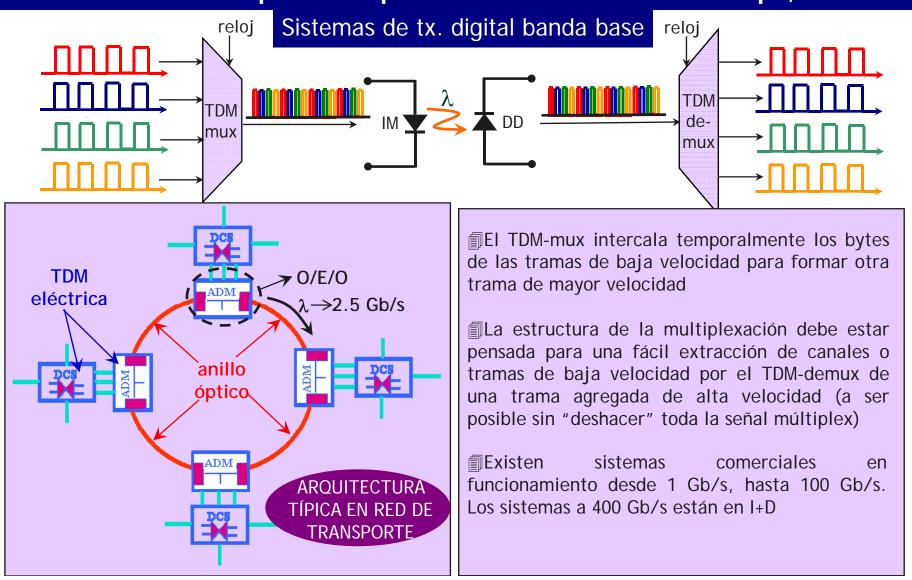


- Introducción
- Multiplexación eléctrica
  - En el dominio del tiempo, TDM
  - En el dominio de la frecuencia, SCM
- Multiplexación óptica
  - En el dominio del tiempo, OTDM
  - En el dominio de la frecuencia, WDM
  - Otras opciones
- Alternativas más usuales
- Resumen y conclusiones





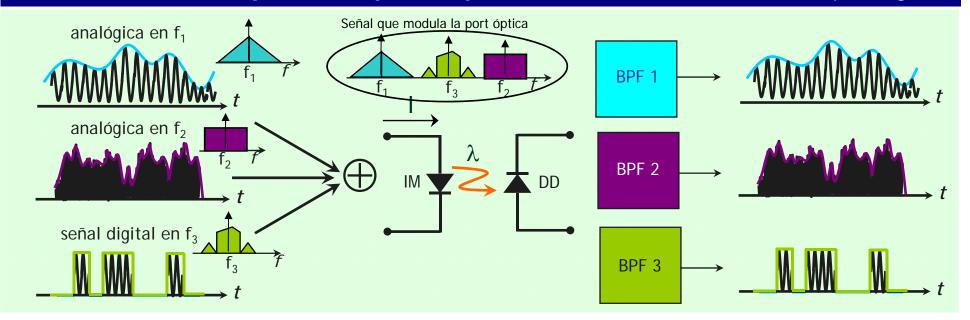
La señal que modula la portadora óptica es una señal múltiplex eléctrica TDM: redes SDH Sistemas con multiplexación por división eléctrica en el tiempo, ETDM







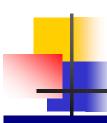
La señal que modula la portadora óptica es una señal múltiplex eléctrica FDM: redes HFC (CATV) Sistemas con multiplexación por subportadora, SCM (subcarrier multiplexing)





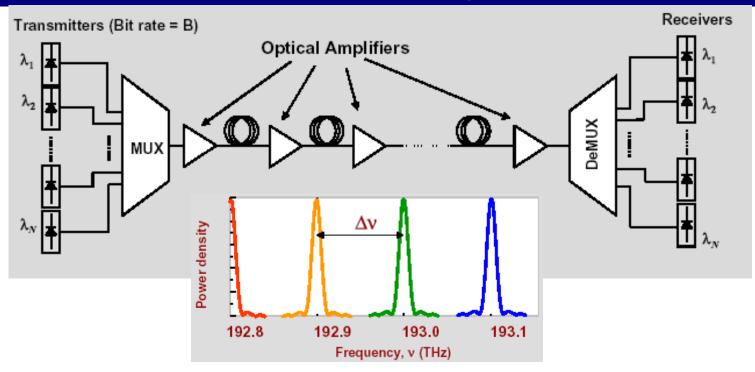


- Introducción
- Multiplexación eléctrica
  - En el dominio del tiempo, TDM
  - En el dominio de la frecuencia, SCM
- Multiplexación óptica
  - En el dominio de la frecuencia, WDM
  - En el dominio del tiempo, OTDM
  - Otras opciones
- Alternativas más usuales
- Resumen y conclusiones





#### Sistemas con multiplexación en longitud de onda, WDM



Es la técnica más consolidada y de mayor potencial para la transmisión multicanal de banda ancha.

Permite disminuir el número de algunos equipos de la línea (A.O.), es transparente al tipo de servicio, velocidad, formato de datos,..., abre la puerta a realizar funciones de red en el dominio óptico

También trae nuevos componentes (muxdemux, OADM,...) y problemas (diafonía, no-linealidades...)

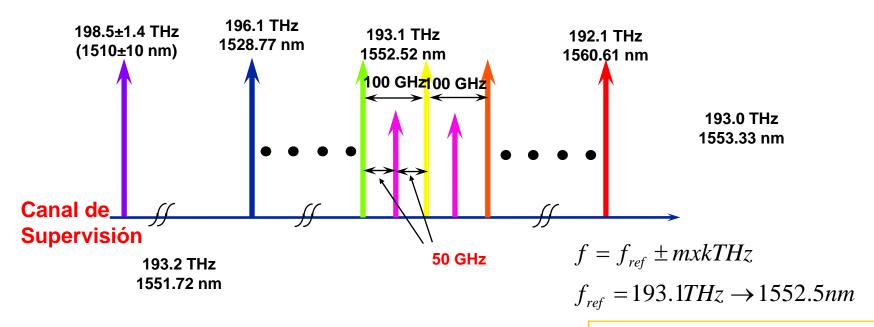




Normalización WDM, ITU-T

ITU-T G.694.1

https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/es

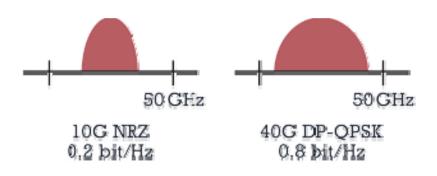


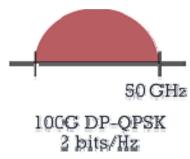
- Frecuencias equiespaciadas
- Separación mínima 100, 50, 25 y 12.5 GHz
- Frecuencia central (línea del Kriptón) 193.1 THz (1552.52 nm)
- Tolerancia en frecuencia: espaciado de canales / 5

El coeficiente k que multiplica a m (entero positivo o negativo) va desde 0,1 para el sistema a 100GHz a 0,0125 para el sistema de 12,5 GHz



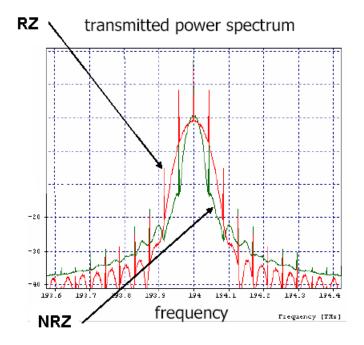






La separación entre canales debe ser suficiente para alojar el espectro que se ha de transmitir (dependiente de la señal eléctrica correspondiente, de su velocidad para tx. digital y del formato de modulación)

Se define el parámetro de eficiencia espectral bits/Hz



Para aumentar la eficiencia espectral se buscan nuevos formatos de modulación, pero hay que tener en cuenta que afecta también a la resistencia a la dispersión, nolinealidades....

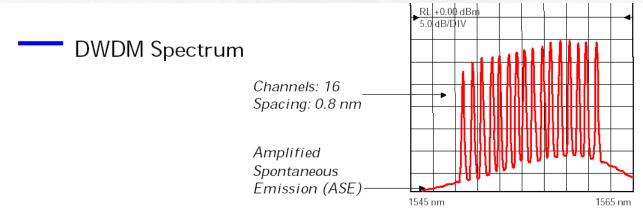
				Modulation spectrum		
				DSB		
Spec	Spectral eff (b/s/Hz)					
	NRZ	RZ	disp tol	SSB		
DSB	1	0.5	1	DSB-SC		
SSB	2	1	1.7			
DSB-SC	2		2	epntildmA		
4-level AS	K 2	1	2	•		
Soliton	-	<0.5	N/A	Soliton		
				λ		





#### Tabla de longitudes onda ITU-G.692

Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm	Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm	Fre- quency/ THz	Center wave- length/nm
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,90	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,55
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86
194,6	1540,56	193,1	1552,52		
194,5	1541,35	193,0	1553,33		

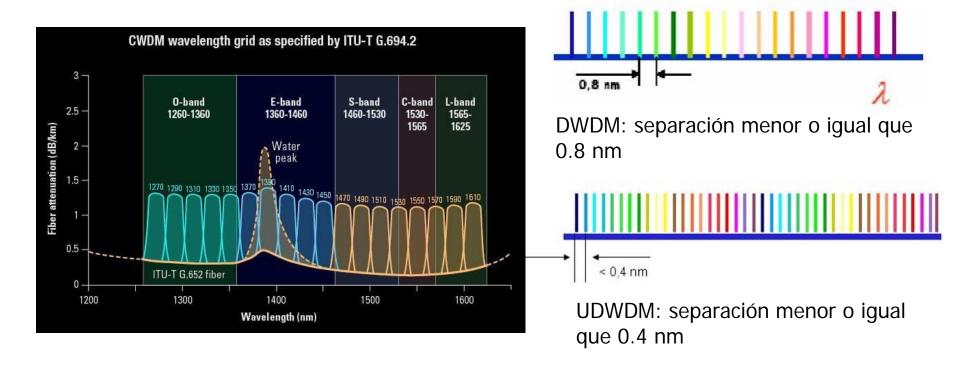






#### **Diferentes alternativas para WDM**

- Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM: 8 o menos canales por banda
- Wavelength Division Multiplexing, WDM: canales con separación de 0.8 ó 1.6 [nm]
- Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM (o UDWDM): canales con separación de 0.8 ó 0.4 [nm], en bandas C, S (1460-1530 [nm]) o L (1565-1625 [nm])

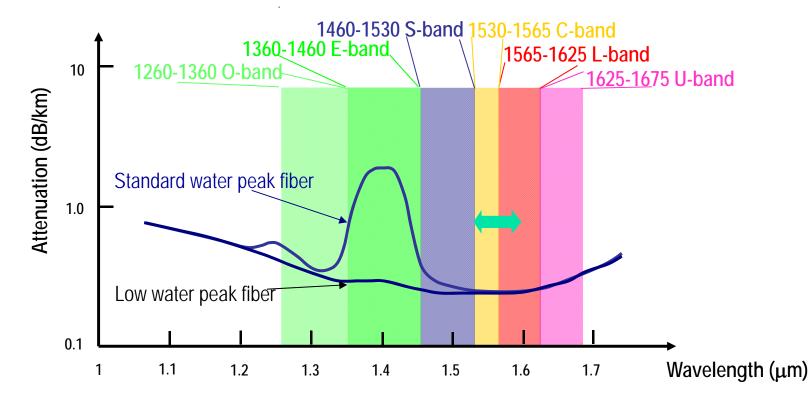






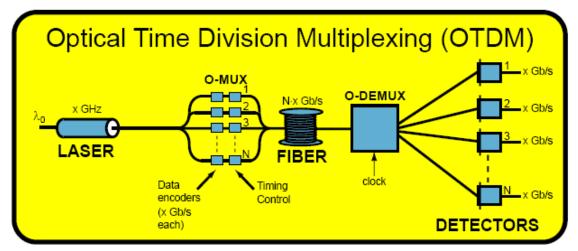
Bandas de transmisión en la fibra

Banda Espectral Continua					
Denominación	Descriptor	Rango (nm)			
Banda-O	Original	1260 - 1360			
Banda-E	Extendida	1360 - 1460			
Banda-S	Corta (Short)	1460 - 1530			
Banda-C	Convencional	1530 - 1565			
Banda-L	Larga	1565 - 1625			
Banda-U	Ultra-Larga	1625 - 1675			





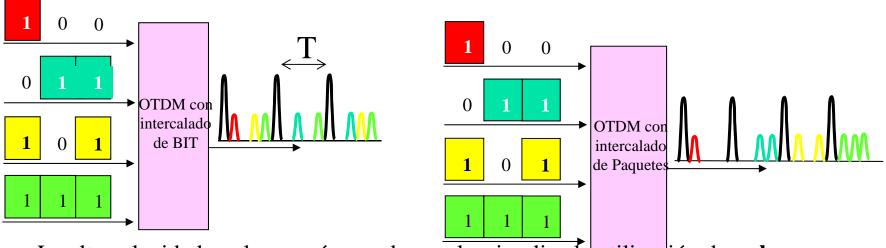




La mux. OTDM se basa en lo mismo que la TDM, pero todas las operaciones de mux y demux se realizan totalmente en **dominio óptico a alta velocidad**.

Las velocidades del canal agregado de los sistemas OTDM demostrados son del orden de 100Gbit/s a 250Gbit/s

Pueden intercalarse los diferentes canales bit a bit o por ráfagas o paquetes. En el primer caso, se necesita mucha precisión en la base de tiempos, bajo jitter.

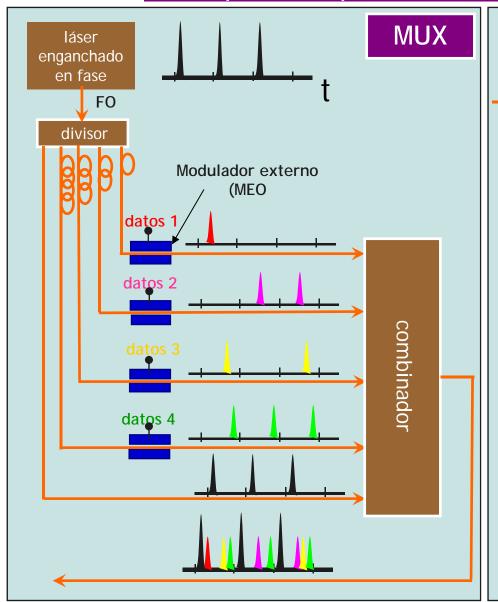


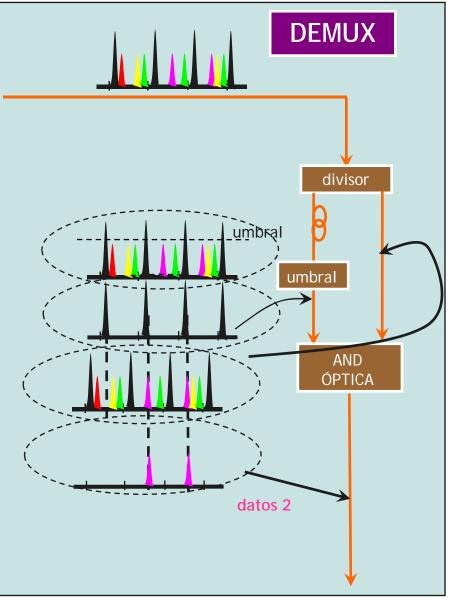
La alta velocidad, y el gran número de canales, implica la utilización de **pulsos muy estrechos**, que se ven afectados fuertemente por la dispersión de la fibra.





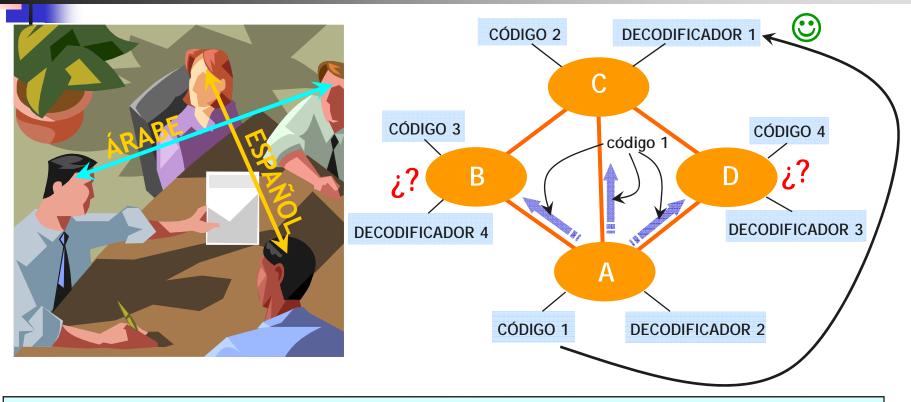
#### Multiplexación por división en el tiempo óptica, OTDM





### Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Multiplexación óptica: otras opciones

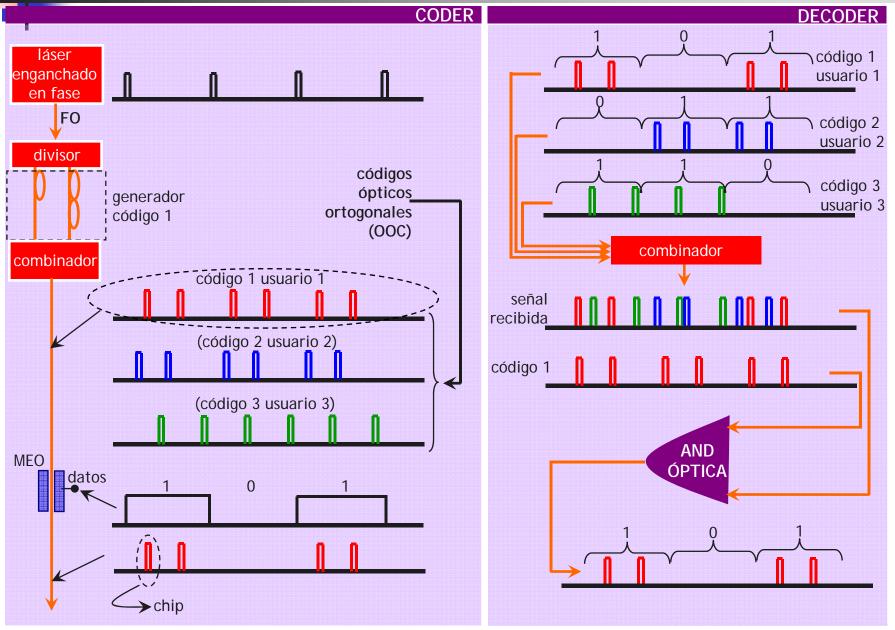




#### Optical Code Division Multiple Access (OCDMA)

- Pretende dar solución al acceso a una red a usuarios que quieren transmitir a alta velocidad simultáneamente
- Frente a WDM tiene la ventaja de que no necesita sus dispositivos tan sensibles en λ
- Frente a la multiplexación TDM eléctrica usando un solo canal óptico tiene la ventaja de que no necesita su electrónica de alta velocidad
- Está inspirada en las técnicas CDM tan extendidas en los sistemas de comunicaciones celulares digitales









- Introducción
- Multiplexación eléctrica
  - En el dominio del tiempo, TDM
  - En el dominio de la frecuencia, SCM
- Multiplexación óptica
  - En el dominio de la frecuencia, WDM
  - En el dominio del tiempo, OTDM
  - Otras opciones
- Alternativas más usuales
- Resumen y conclusiones



### Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Alternativas más usuales

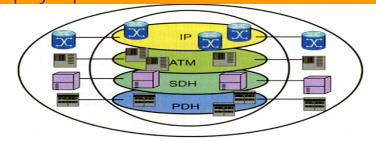


Multiplexación en sist. cc.oo. digitales banda-base de transmisión

Estándar de las redes de transporte

SONET (Synchronous Optical Network) Norteamérica

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) Europa y Japón

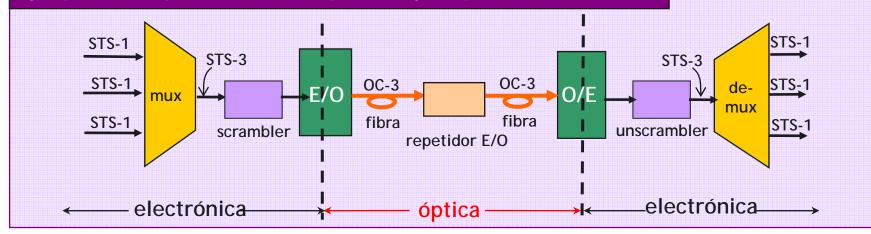


Red ETDM (mux. en tiempo eléctrica), señales digitales BB

estandarizadas por SDH/SONET

SONET		SDH	Velocidad (Mbps)	
Elé ctri co	Óptico	Óptico	Total	Datos
STS-1	OC-1		51.84	50.112
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150,336
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016
STS-24	OC-24	STM-8	1 244.16	1 202.69
STS-36	OC-36	STM-12	1 866 24	1 804.03
STS-48	OC-48	STM-16	2 488.32	2 405 38
STS-96	OC-96	STM-32	4 976.64	4 810.75
STS-192	OC-192	STM-64	9 953.28	9 621.50
STS-255	OC-255	STM-85	13 219.20	12 778.56
STS-768	OC-768	STM-256	39 813.12	39 107 02

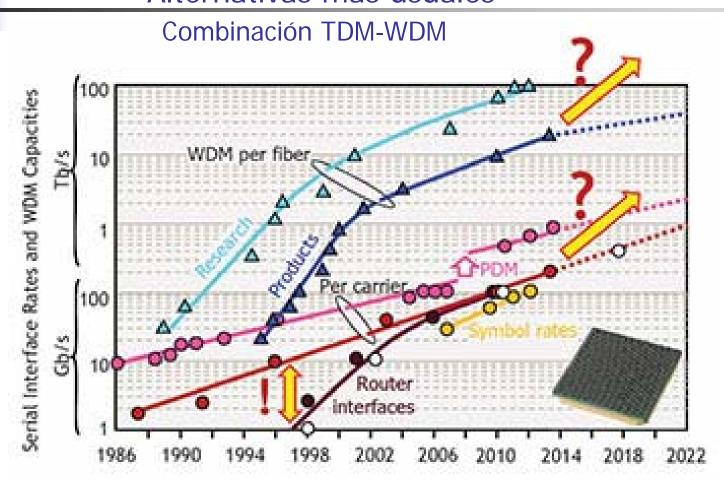
#### Ejemplo de multiplexación / demultiplexación jerarquizada en SDH/SONET





# Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Alternativas más usuales

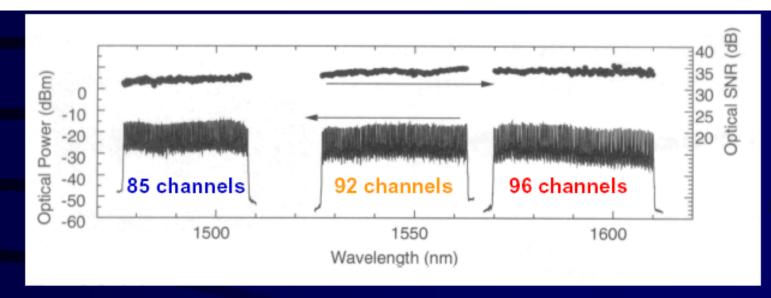




- △ WDM capacity per fiber, research
- ▲ WDM capacity per fiber, products
- Interface rates per carrier, research
- O Symbol rates per carrier, research
- Interface rates per carrier, products
- Router interface rates, products
- O Ethernet standards



### 10.92 Tb/s Triple Band DWDM



S, C, and L Bands + Raman

K. Fukuchi et. al., OFC'2001, PD24, March 2001

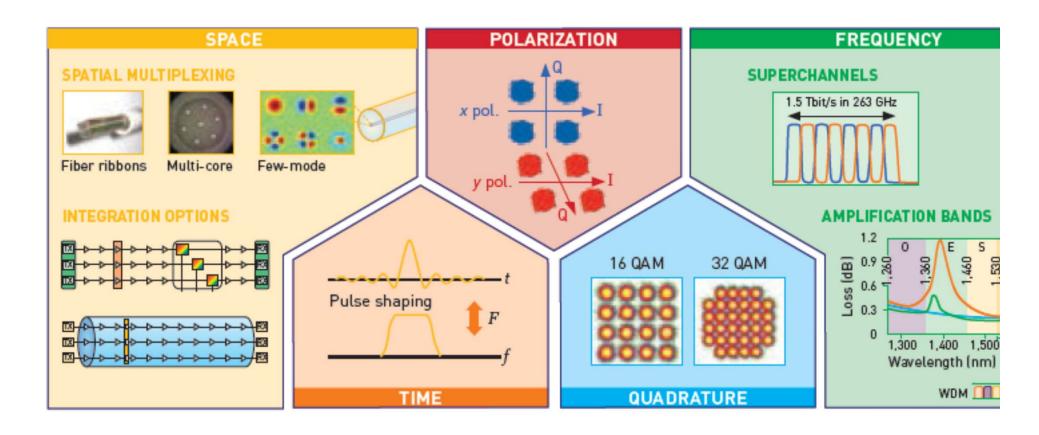
273 channels x 40Gb/s
50 GHz channel spacing
0.8 b/s/Hz spectral efficiency
Polarization interleaving
NRZ

100 GHz spacing after polarizer





#### Diferentes alternativas de multiplexación para el futuro



Tendencia a usar diversidad de polarización y multiplexación espacial mediante fibras multi-núcleo o multimodo

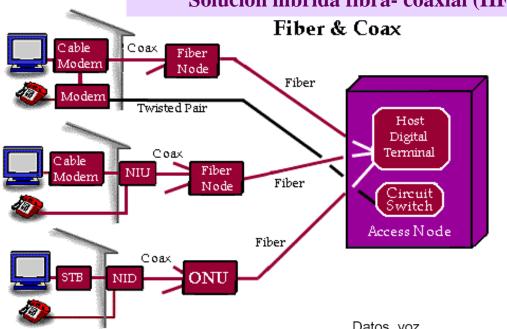


#### Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Alternativas más usuales



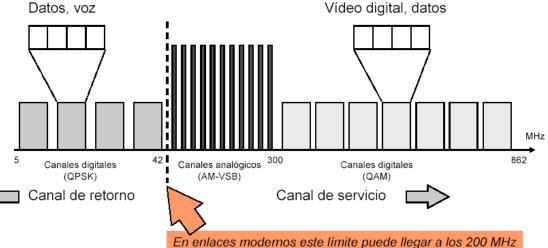
#### Ejemplos de sistemas con tx. analógica por fibra óptica

#### Solución híbrida fibra- coaxial (HFC), basada en redes CATV



Emplea multiplexación por subportada para combinar los distintos servicios (canal ascendente / descendente) y distintos usuarios (canal ascendente)

La señal de tv usa modulación analógica AM-VSB o digital QAM-16,64,256. Los datos usan mod. QAM-64,256 en canal descendente, QPSK o QAM-16 en canal ascendente





# Ing. Telec., CC.OO.: Multiplexación Alternativas más usuales



#### Combinación SCM-WDM

