

# Fibra Optica 2008

## WDM

Victor Hugo Ulloa

Universidad Tecnica de Ambato

# Agenda

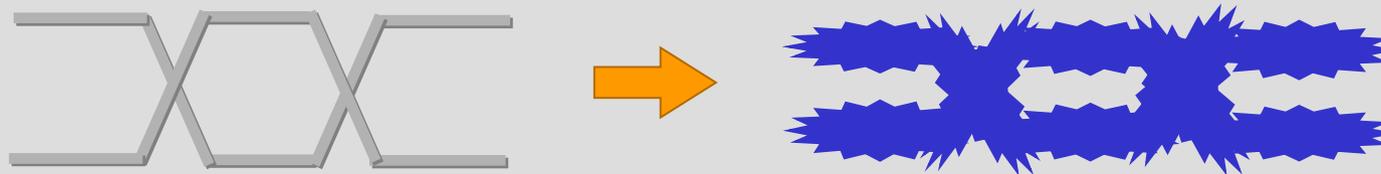
- Optical Transport
  - SONET
  - WDM

# Efectos de medio de transmision

## Attenuation:

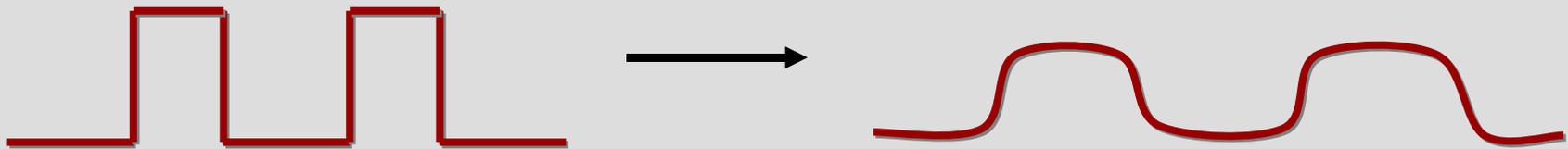


## Dispersion and Nonlinearities:



# Dispersion Optica

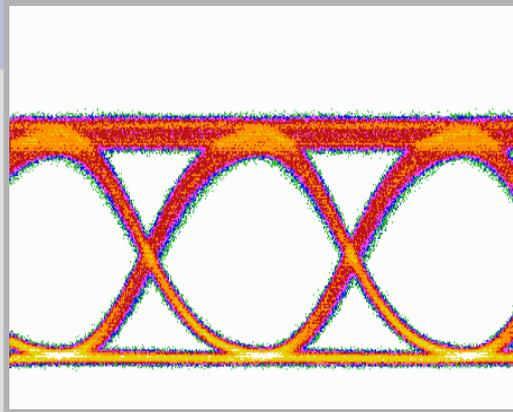
## Chromatic Dispersion



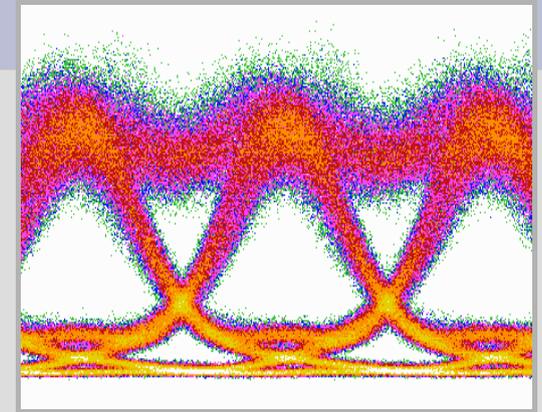
## Polarization Mode Dispersion



# Efectos no lineales



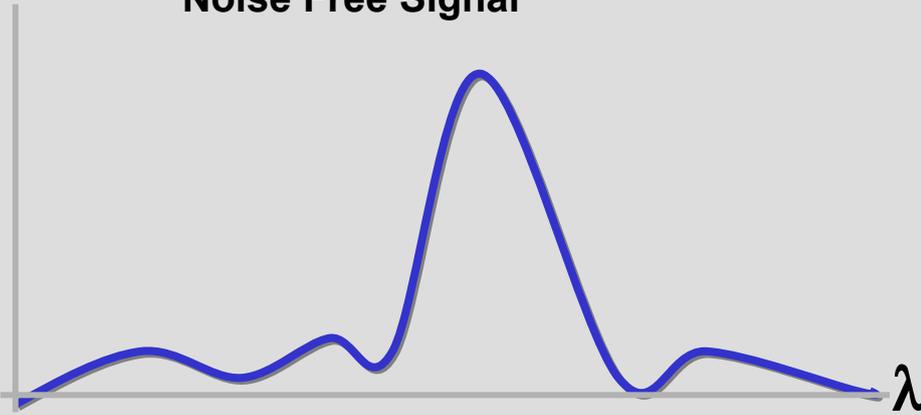
Signal Degradation



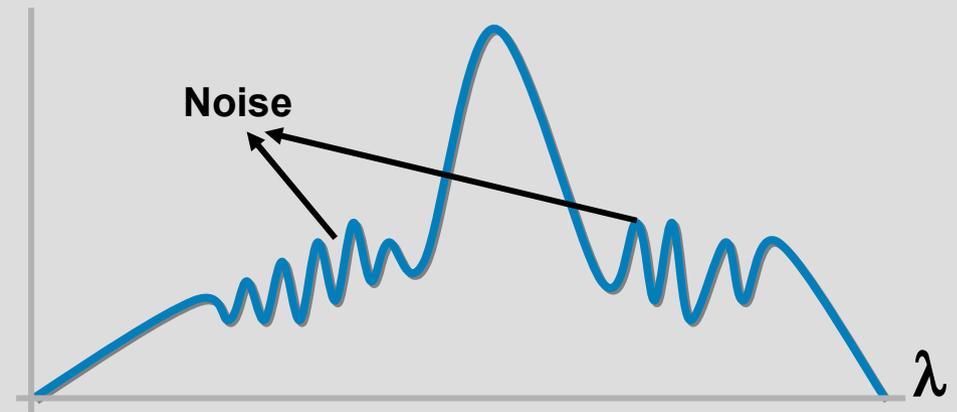
- La no linealidad cause interferencia en la senial transmitida signal
- Para un canal simple el mayor efecto no lineal es: Self Phase Modulation (SPM)
- Para canales multiples (WDM)el mayor efecto es : Cross Phase Modulation (XPM)
- Para sistemas con alta capacidad de canales el problema es: Four Wave Mixing (FWM)

# Ruido en transmision optica

Noise Free Signal



Signal Effected by Noise



- El ruido se expres como OSNR (Optical Signal to Noise Ratio)

# Comunicaciones Opticas y OSI

## Open System Interconnection (OSI) Reference Model

Application

Presentation

Session

Transport

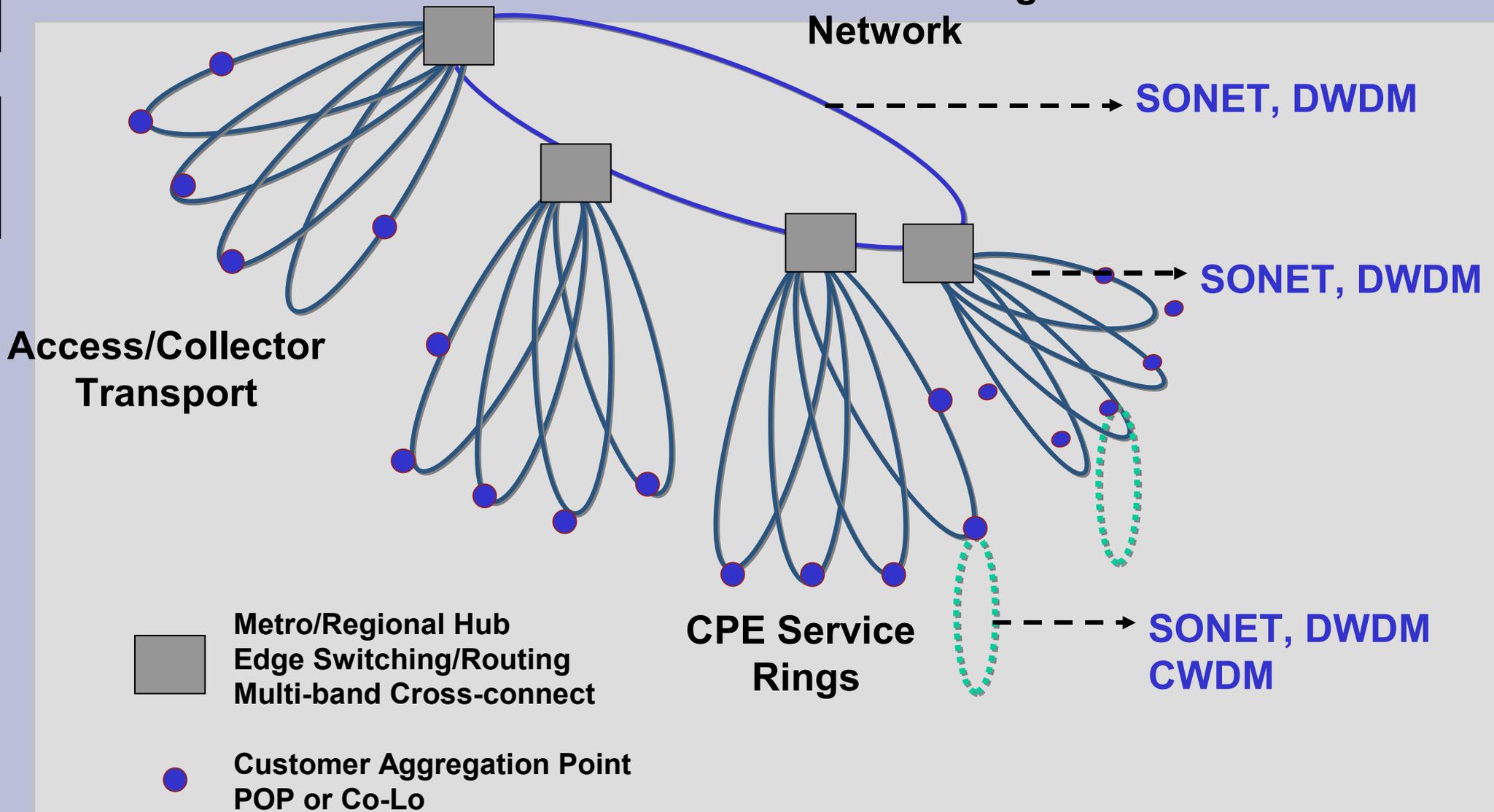
Network

Data Link

Physical

# Metro Optical Network Layout

Inter Office Metro/Regional  
Network



# Estandares de Transporte Optico

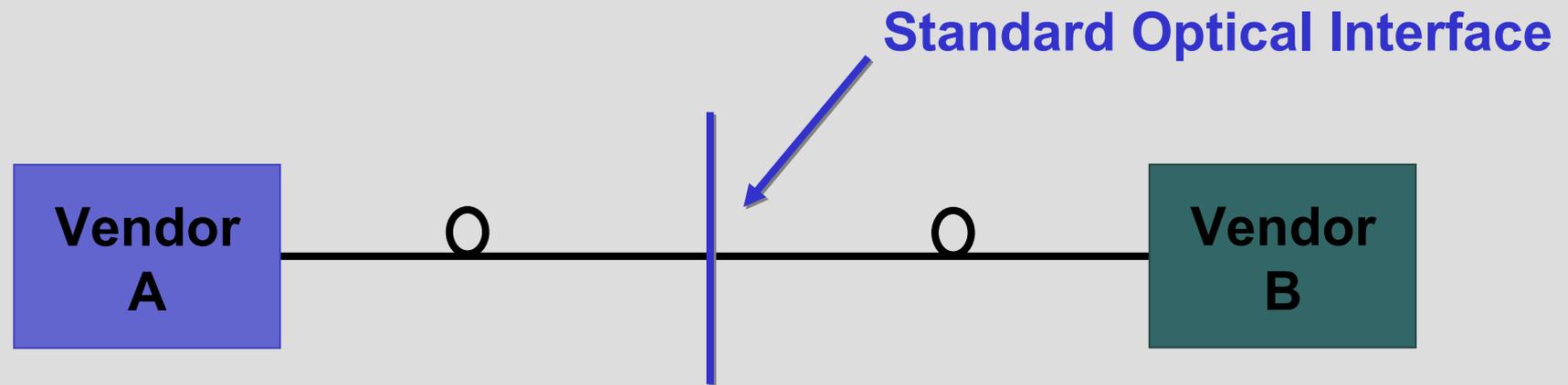
- Standard Bodies:  
ITU-T, Bellcore
- Bellcore GR-253: SONET
- ITU-T G.707: SDH
- ITU-T G.652/653: Fiber
- ITU-T G.692: DWDM



*Performance from Experience*



# Que es SONET? Que es SDH?



- **SONET**—Synchronous Optical Network (Bellcore GR-253)
- **SDH**—Synchronous Digital Hierarchy (ITU-T G.707)

# Porque SONET/SDH

- Sistema de transporte de alta velocidad
- Multiplexacion en nivel electrico usando TDM
- Sincronico
- Proteccion y restauracion eficiente
- Soportado por multivendors
- Administracion del ancho de banda de la transmision

# SONET Terminologia

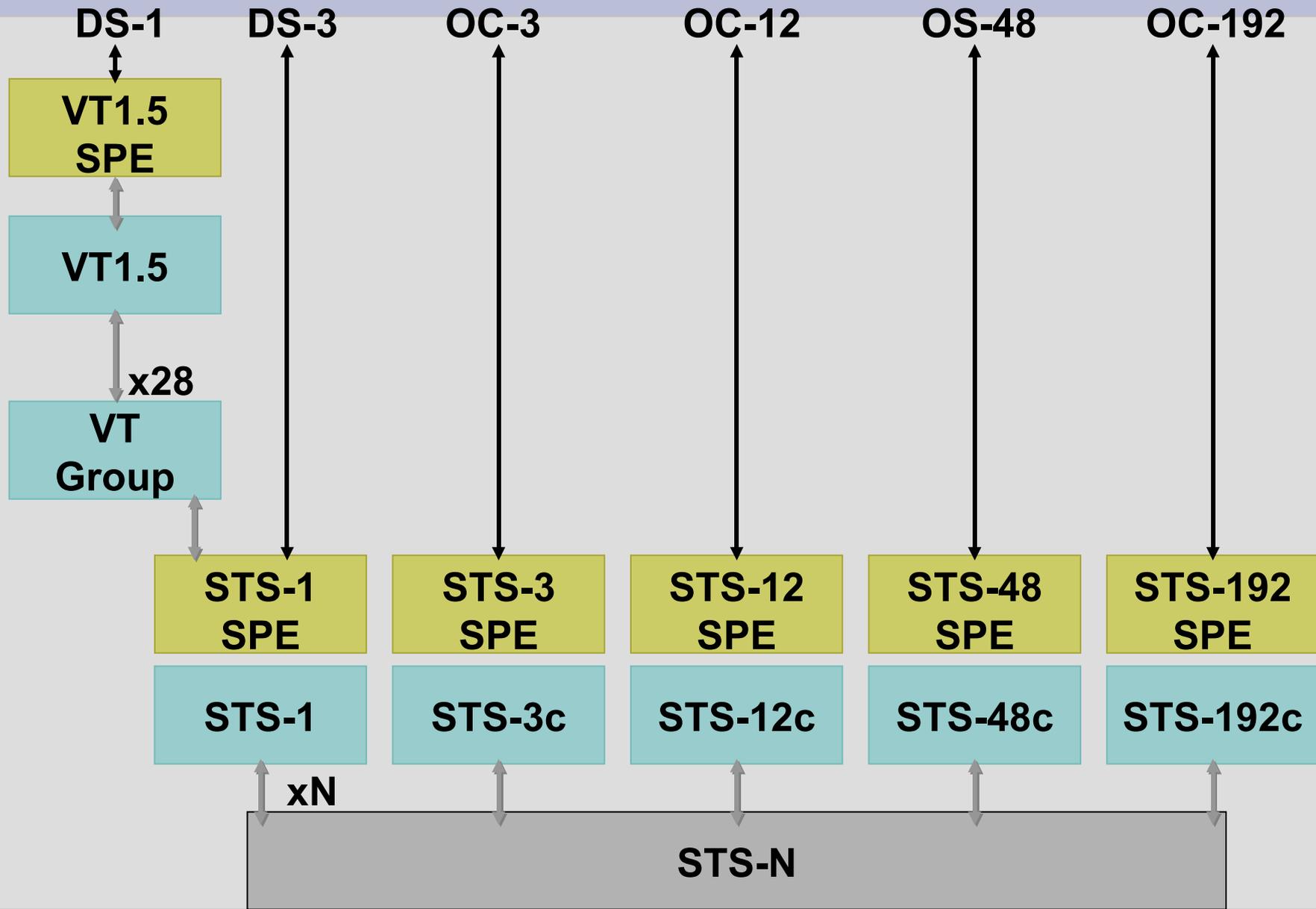
- OC-N: Optical Carrier—Level N
  - The optical SONET signal at N times the basic rate of 51.84 Mb/s (OC-1)
- STS-N: Synchronous Transport Signal—Level N
  - The electrical SONET signal at N times basic rate of 51.84 Mb/s (STS-1)
- SPE: Synchronous Payload Envelope
  - The SONET construct into which ALL payloads are mapped
- VT: Virtual Tributary
  - The unit into which the STS-1 SPE is subdivided to carry payloads that require less than 51.84 Mb/s

# Jerarquia de transporte SONET

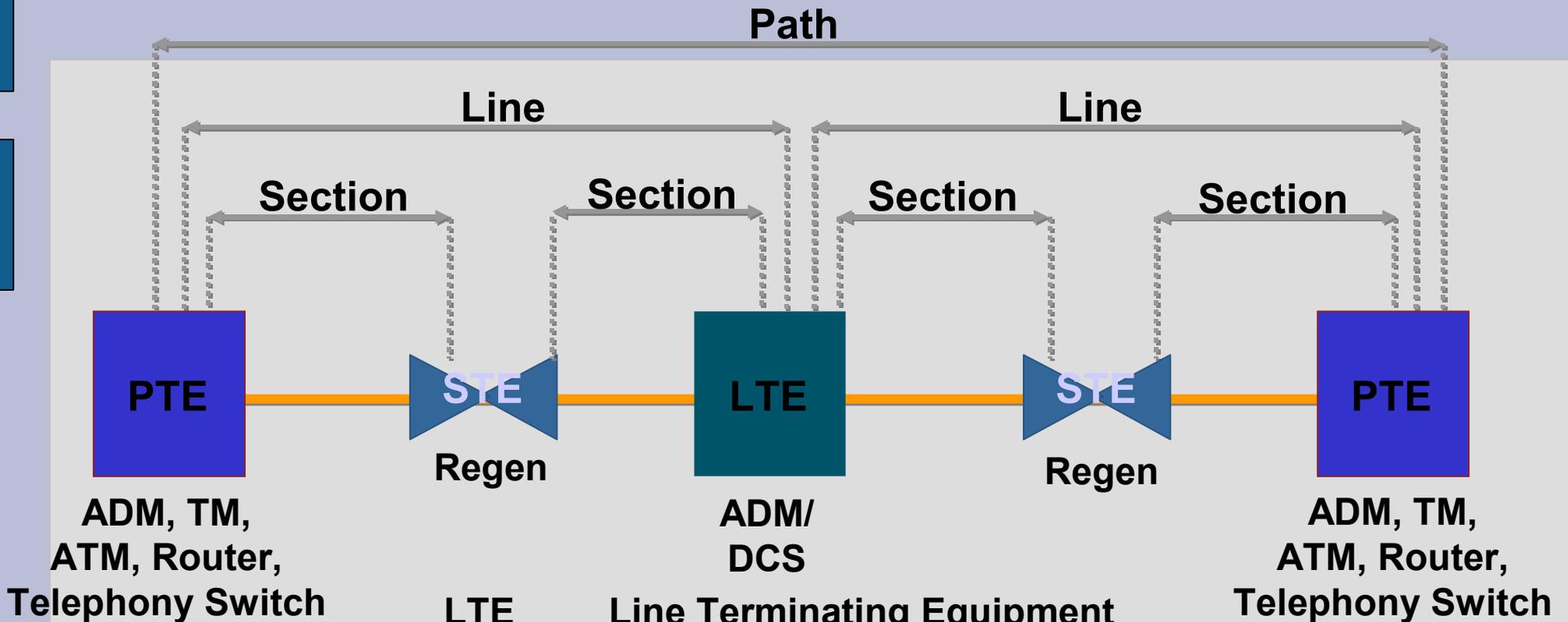
Signal	Bit Rate	Capacity
STS-1, OC-1	51.84 Mbps	28 DS1s, or 1 DS3s
STS-3, OC-3	155.520	84 DS1 or 3 DS3s
STS-12, OC-12	622.08	336 DS1s or 12 DS3s
STS-48, OC-48	2488.32	1344 DS1s or 48 DS3s
STS-192, OC-192	9953.28	5376 DS1s or 192 DS3s

**SONET Overhead Is 3.45 % Independent of Data Rate**

# SONET Multiplexing Hierarchy

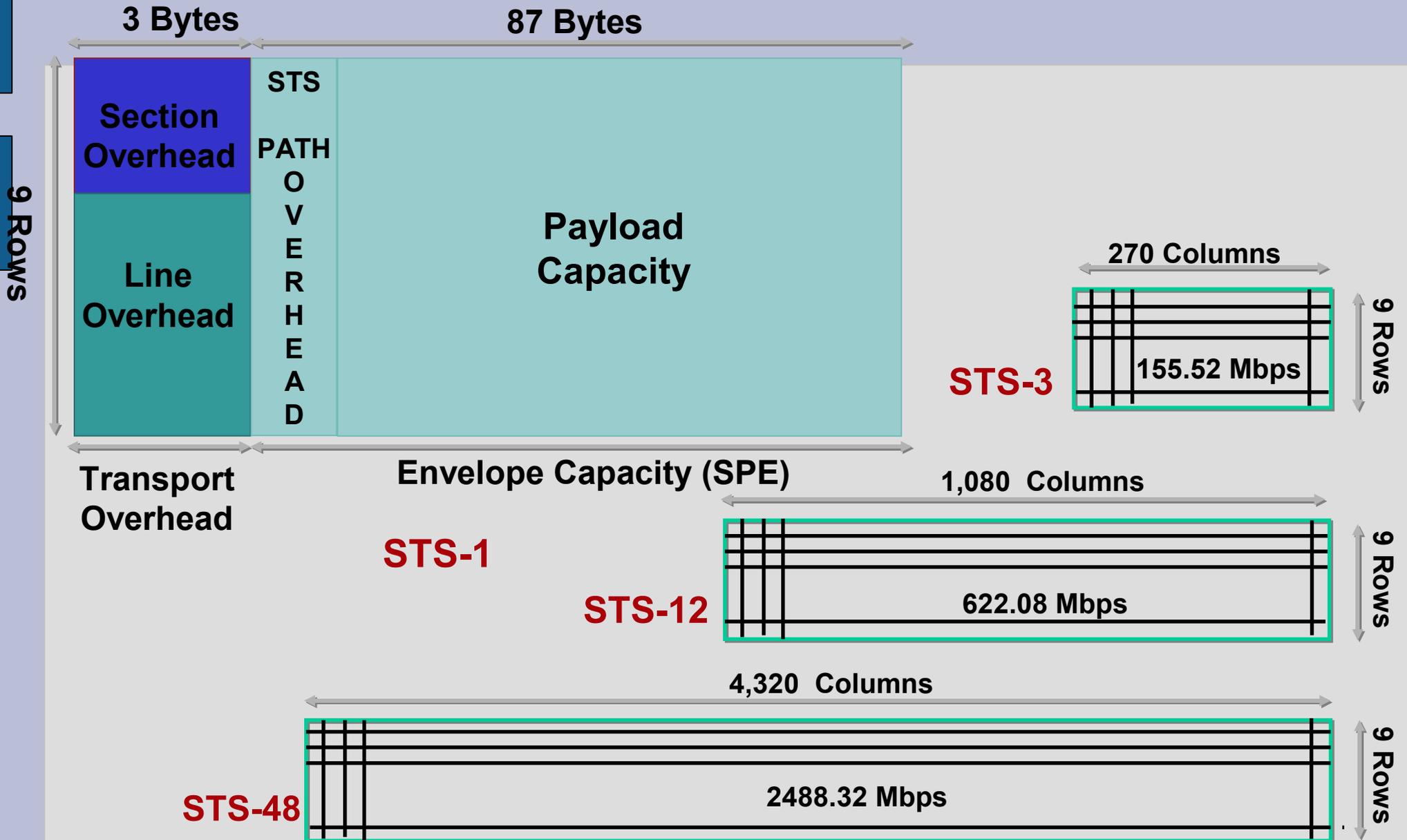


# SONET Transport Layers



- LTE Line Terminating Equipment
- PTE Path Terminating Equipment
- STE Section Terminating Equipment
- ADM Add/Drop Multiplexer
- DCS Digital Cross-Connect System
- TM Terminal Multiplexer
- Regen Regenerator

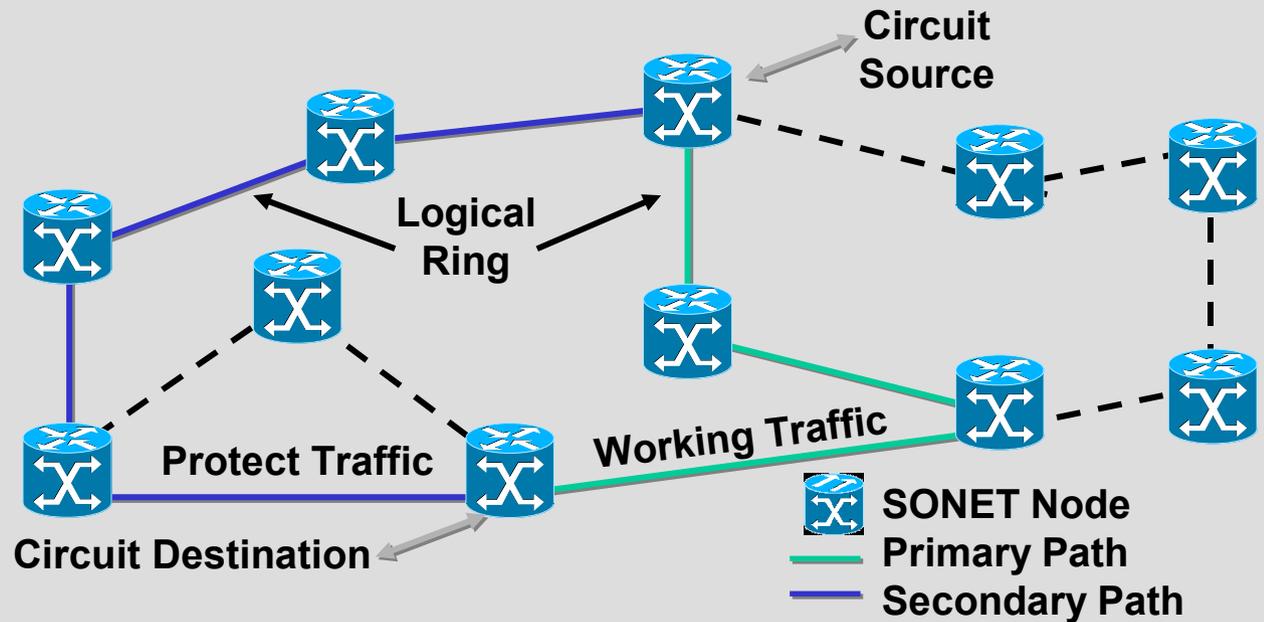
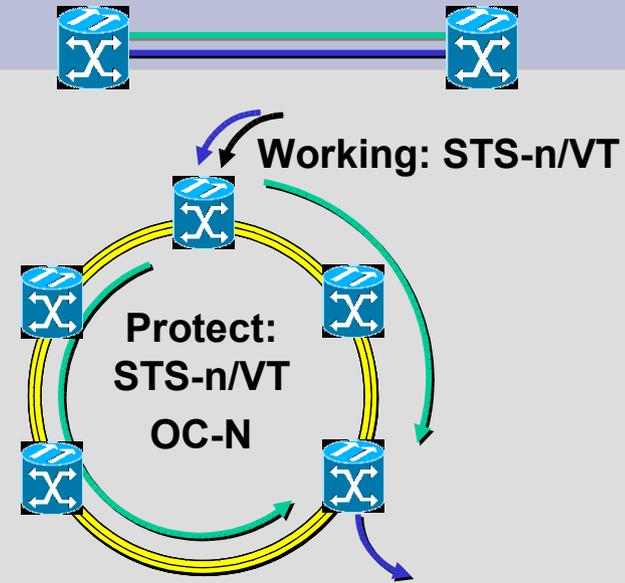
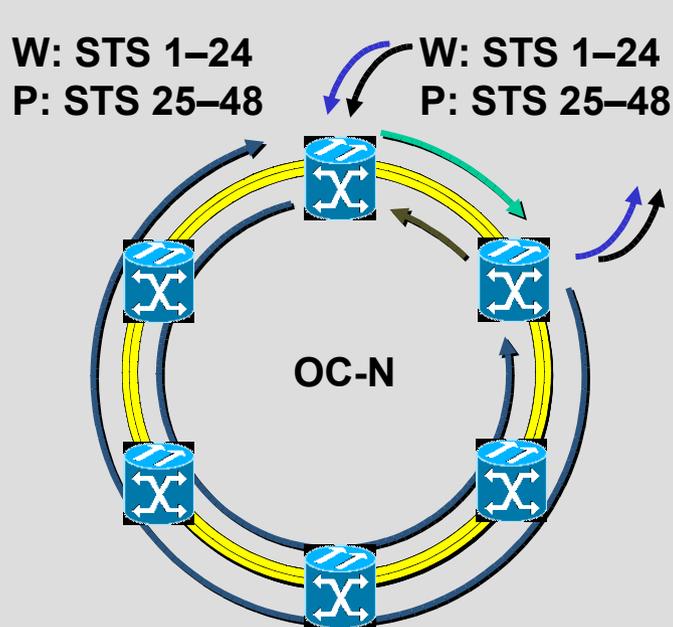
# SONET Framing



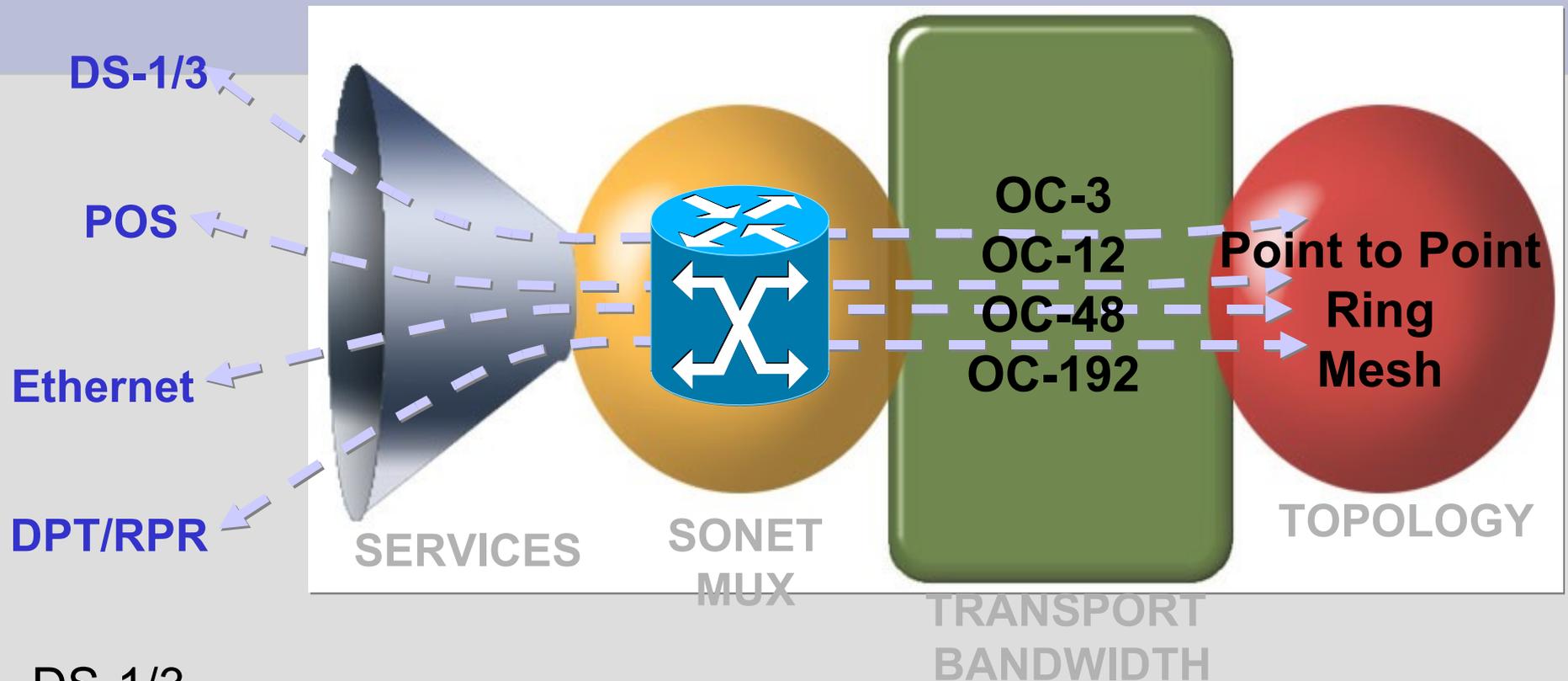
# SONET Network Topology and Protection

- SONET protection

- Linear—APS (1+1)
- Path—UPSR
- Line—BLSR
- Meshed network Path—PPMN



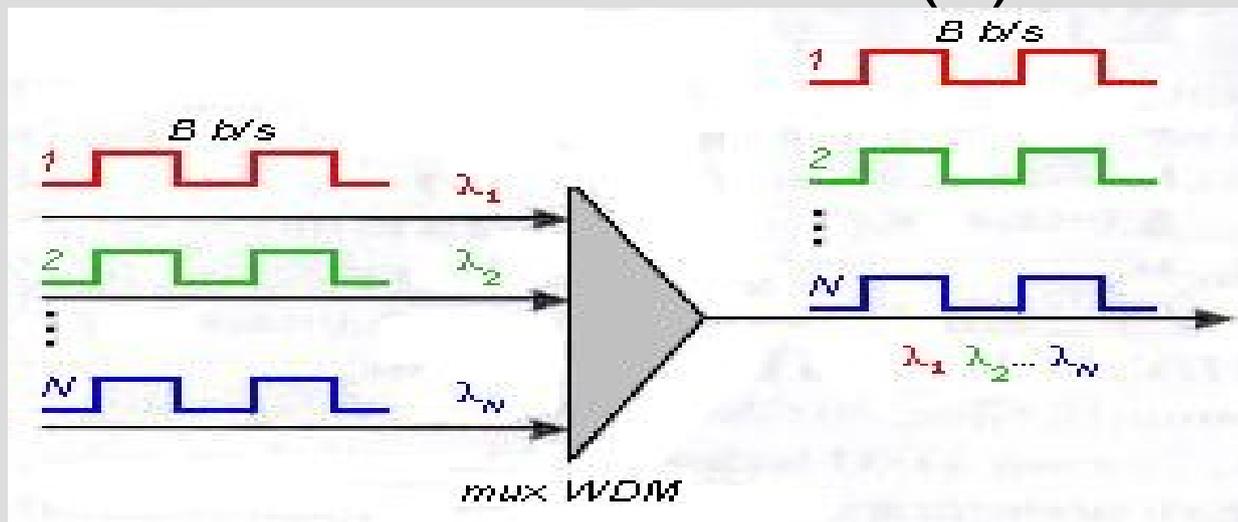
# Servicios sobre SONET



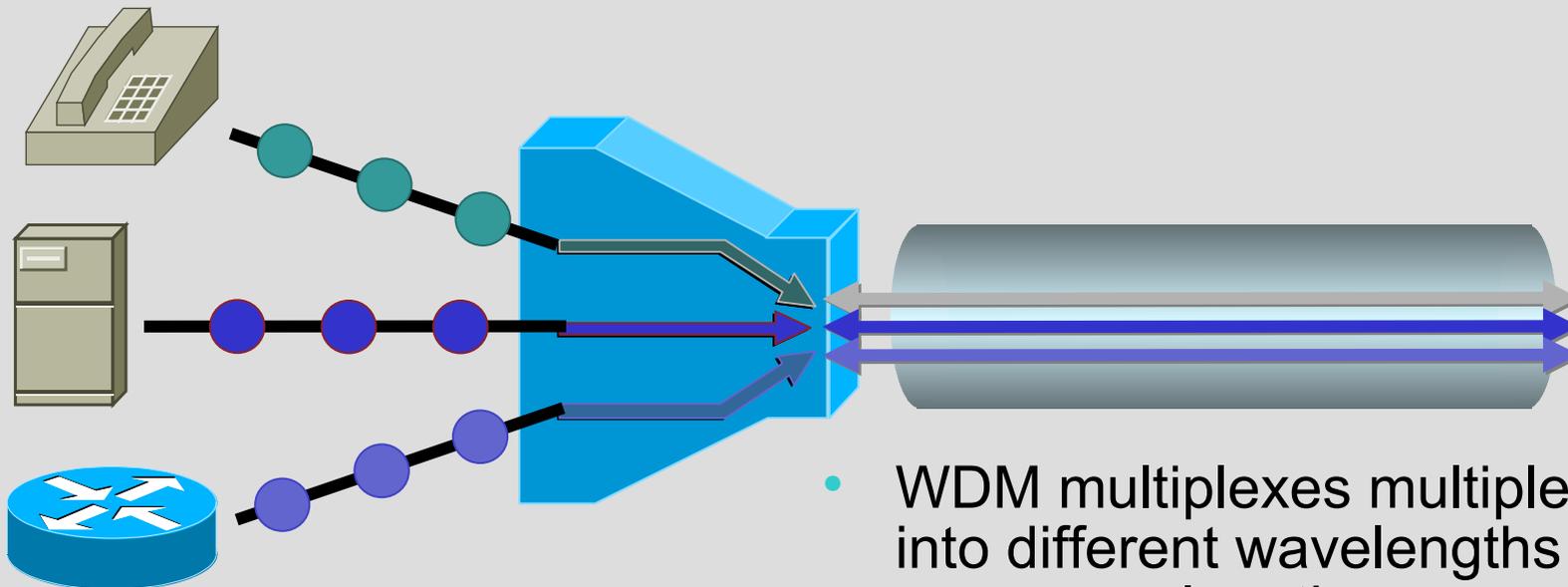
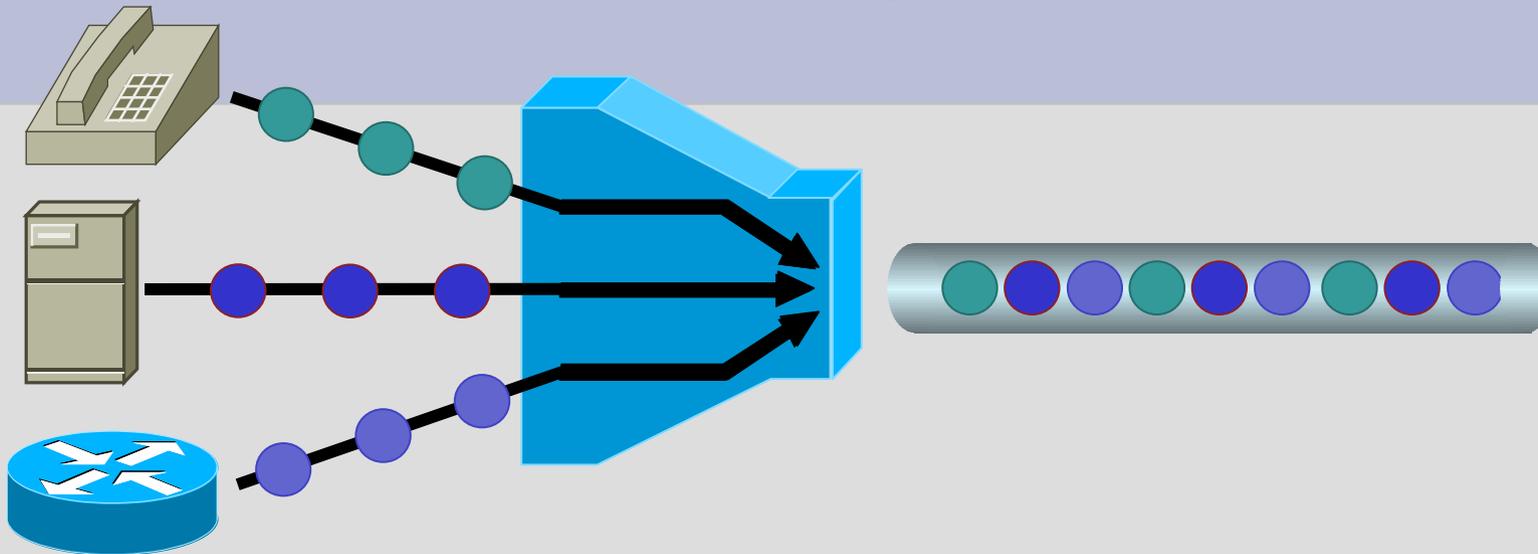
- DS-1/3
- Packet Over Sonet—OS (OC-3c, OC-12c, OC-48c, OC-192c)
- Ethernet (10/100BT and GigE)
- DPT/RPR (Dynamic Packet Transport/Resilient Packet Ring)

# Que es WDM?

- Wave Division Multiplexing
- Metodo de combinar multiples longitudes de onda sobre una fibra
- Las longitudes de onda son comunmente expresadas como Lambda ( $\lambda$ )



# TDM vs. WDM



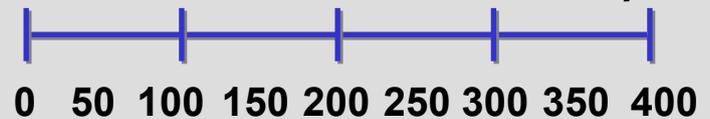
- WDM multiplexes multiple services into different wavelengths on a fiber; more wavelengths = more bandwidth

# Características de una red WDM

- Transparency(transparencia)
  - Puede transporta multiples protocolos sobre la fo

- Wavelength spacing(Espaciamiento lambda)

- 50GHz, 100GHz, 200GHz



- Define cuantas y cuales longitudes de onda pueden ser usadas

- Wavelength capacity(capacidad de lambda)

- Ej: 1.25Gb, 2.5Gb, 10Gb

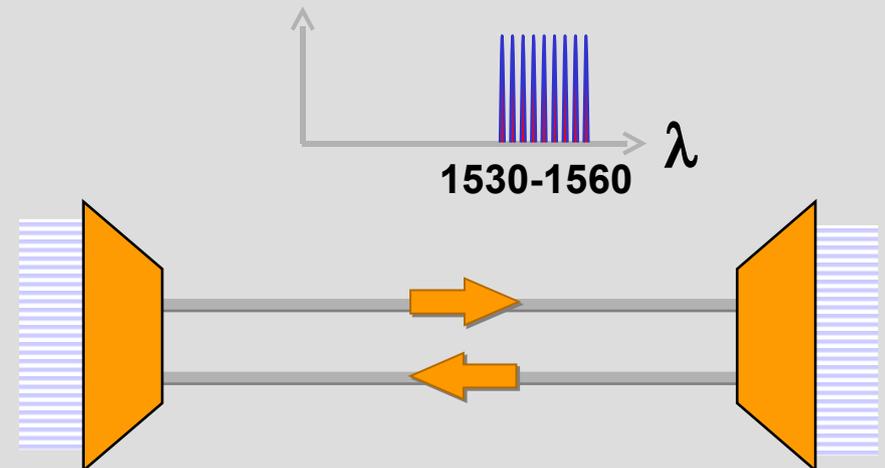
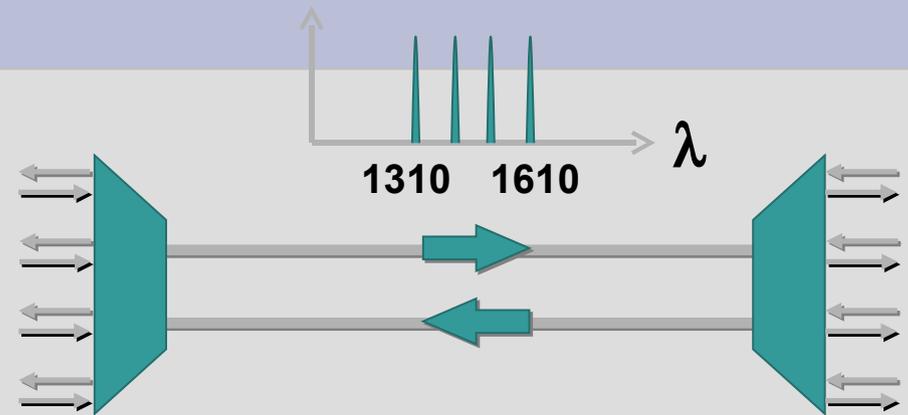
# Tipos de WDM

- CWDM—Course Wavelength Division Multiplexing

- Tipico 4-16 lambdas por fibra
- Alto espaciamiento entre lambdas
- Dificil de amplificar
- Bajo costo

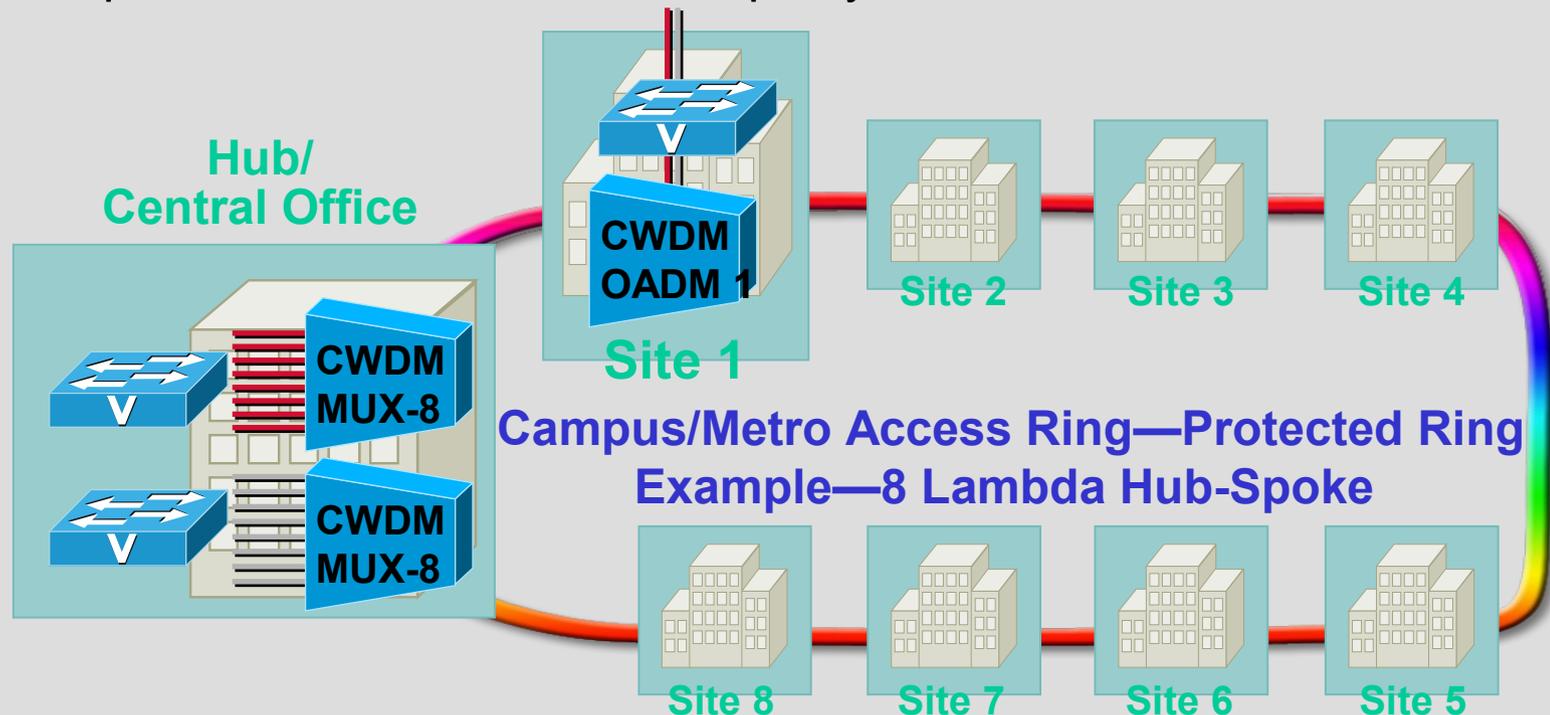
- DWDM—Dense Wavelength Division Multiplexing

- Tipicamente mas de 16 lambdas
- Longitudes de onda muy cercanas, menos de 200GHz
- Alta densidad y capacidad



# Que es CWDM y porque?

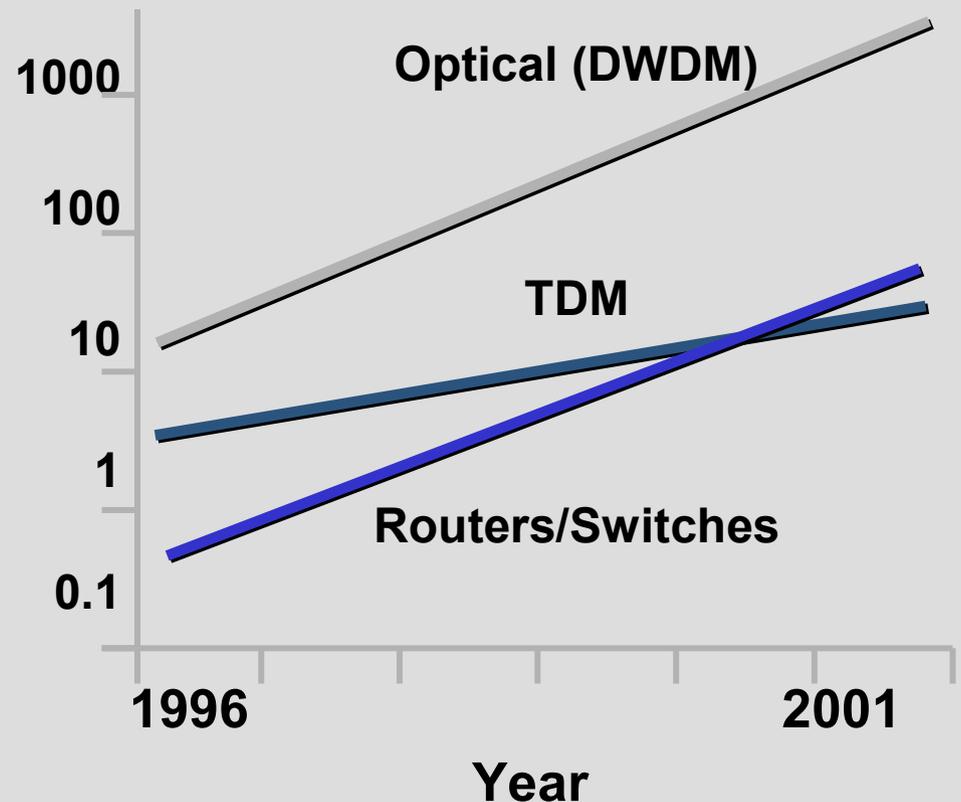
- CWDM—Course Wavelength Division Multiplexing
  - Manera eficiente y costo competitivos de llevar multiples lambdas sobre cortas distancias
  - Las lambdas estan distribuidas sobre 1310nm hasta 1610nm
  - Transpote efectivo de GE en campus y redes metro



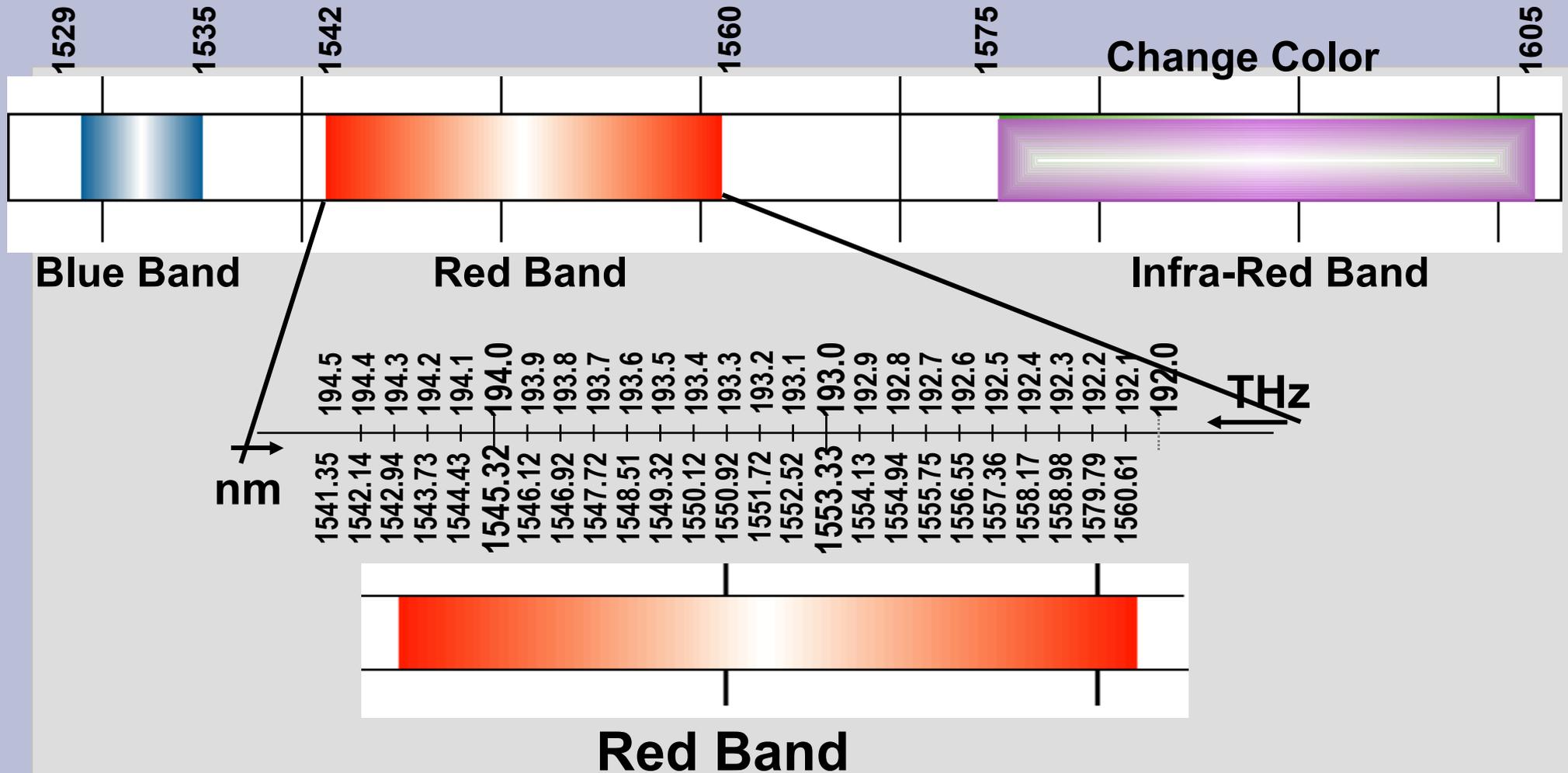
# Porque DWDM?

- Alta escalabilidad
- Alta disponibilidad
- Seguridad
- Economicamente rentable

Line and Network Speeds (Gbit/s)



# DWDM lambdas utilizadas

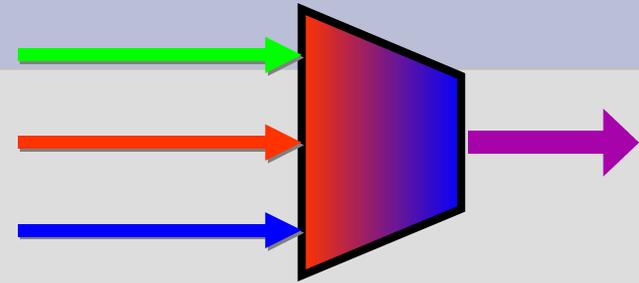


In Red Band: 24 Channels @ 100GHz Spacing; 48 Channels @ 50GHz Spacing  
 In C (Red+Blue) Band: 40 Channel @ 100GHz Spacing; 80 Channel @ 50GHz Spacing

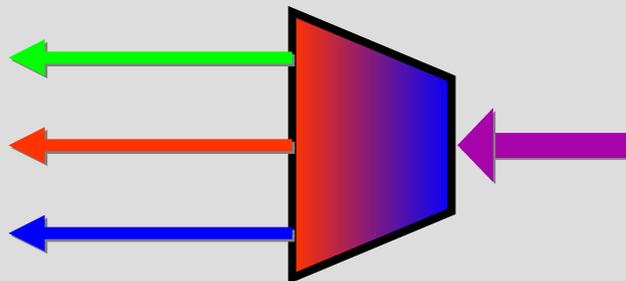
# DWDM Componentes



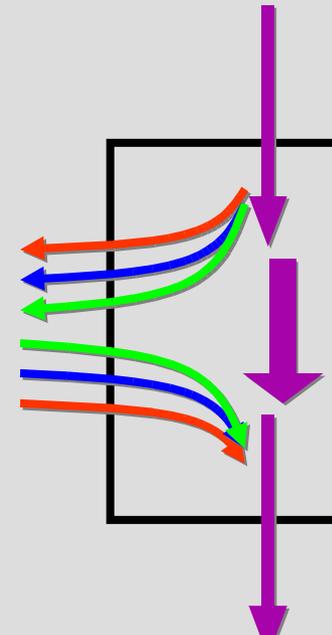
Transponder



Optical Multiplexer (MUX)

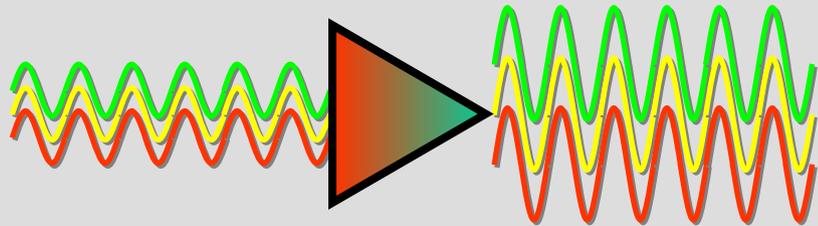


Optical De-multiplexer (DEMUX)

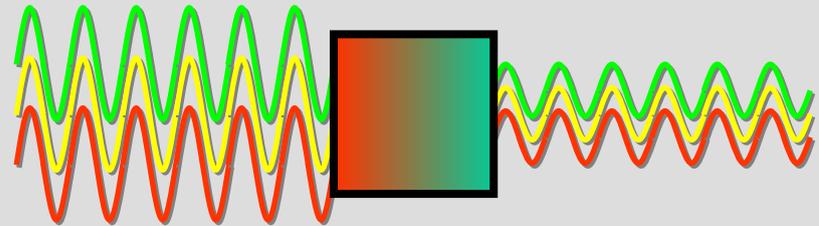


Optical Add/Drop Multiplexer (OADM)

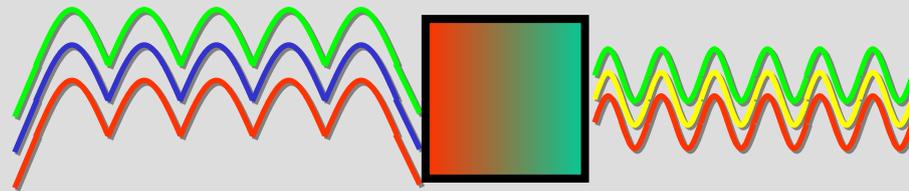
# DWDM Componentes



**Optical Amplifier  
(EDFA)**

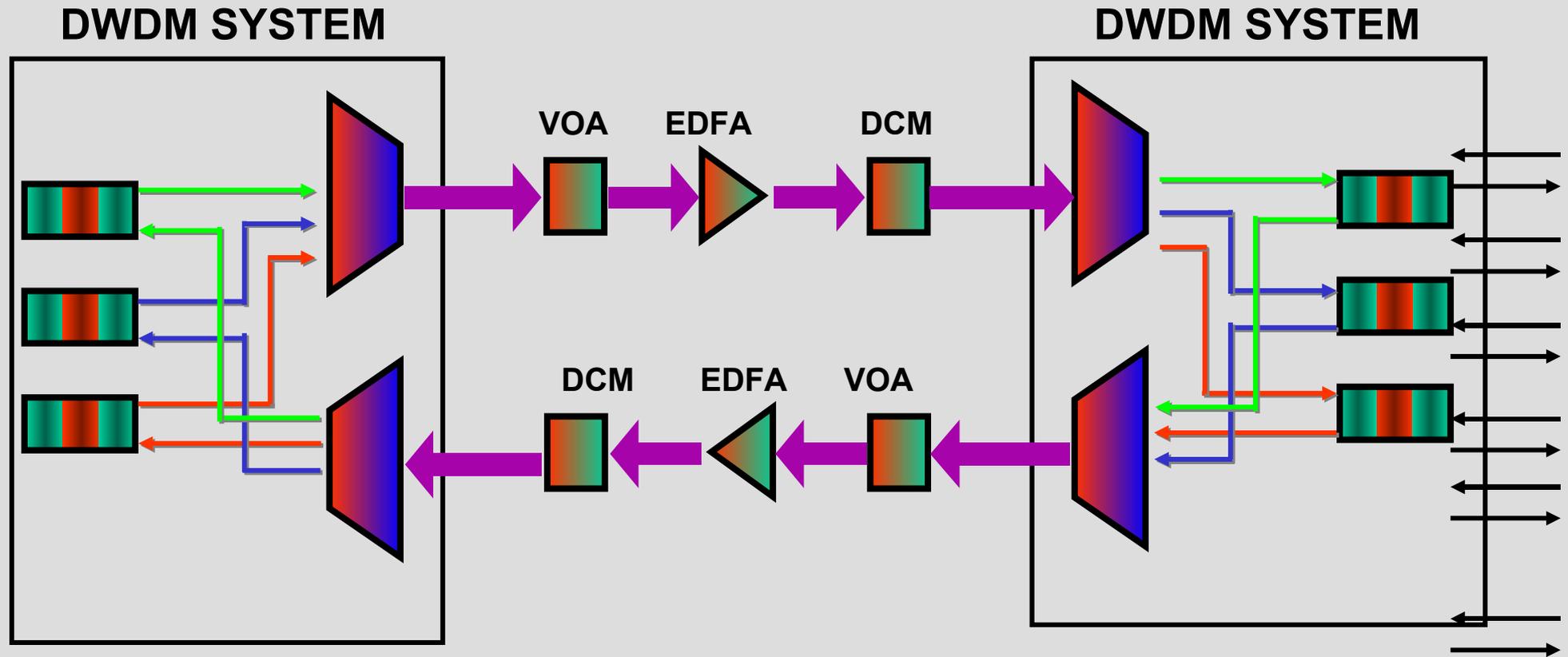


**Optical Attenuator/VOA**

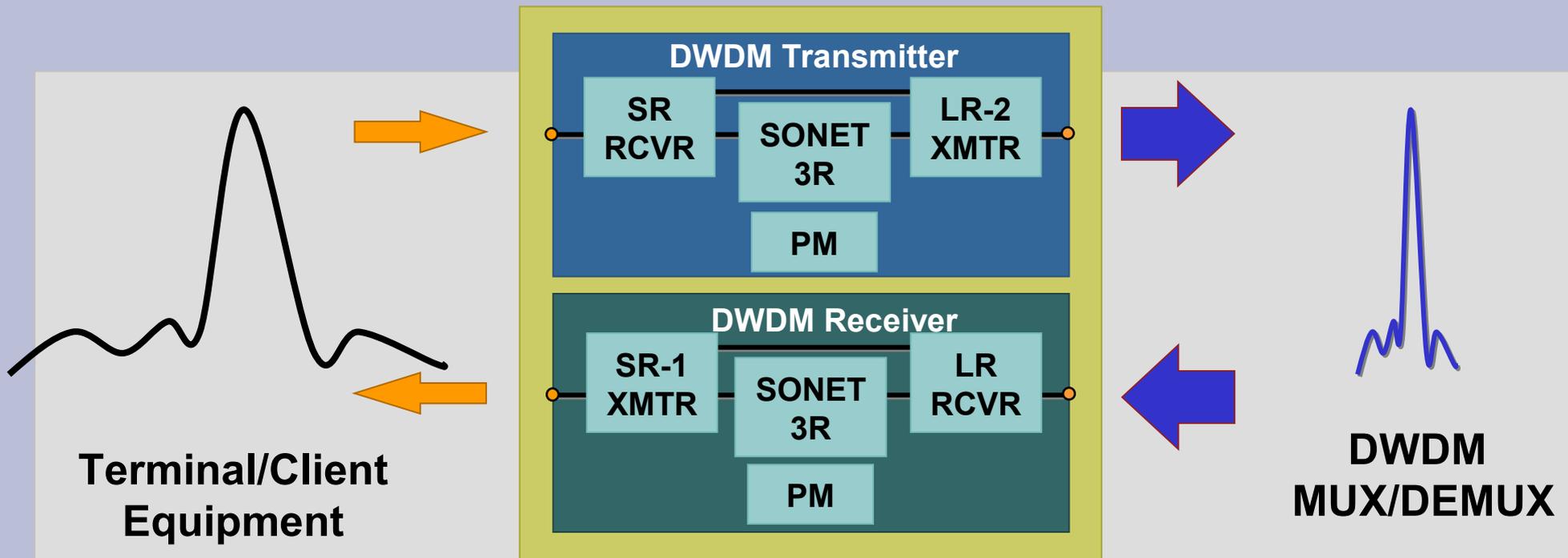


**Dispersion Compensator (DCM)**

# Red DWDM tipica



# Transponder

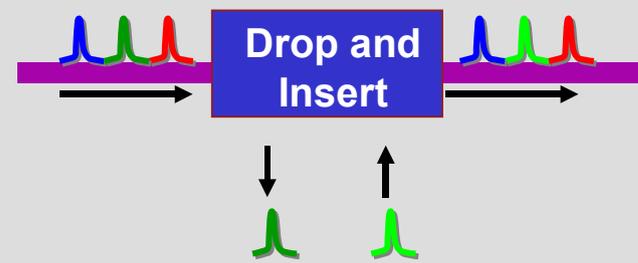
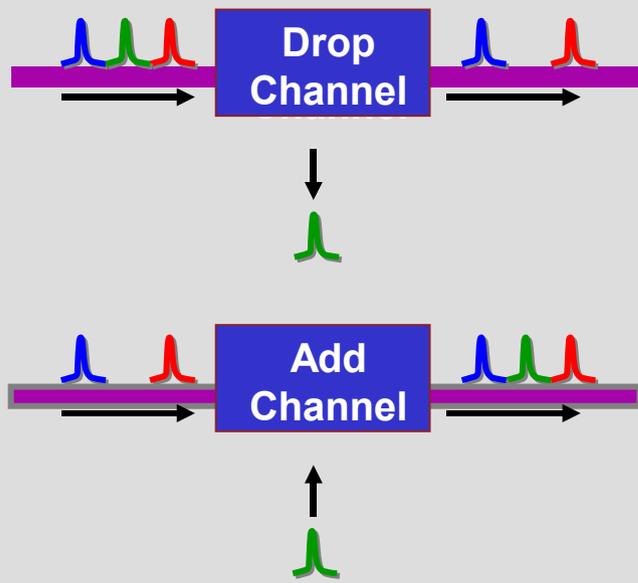
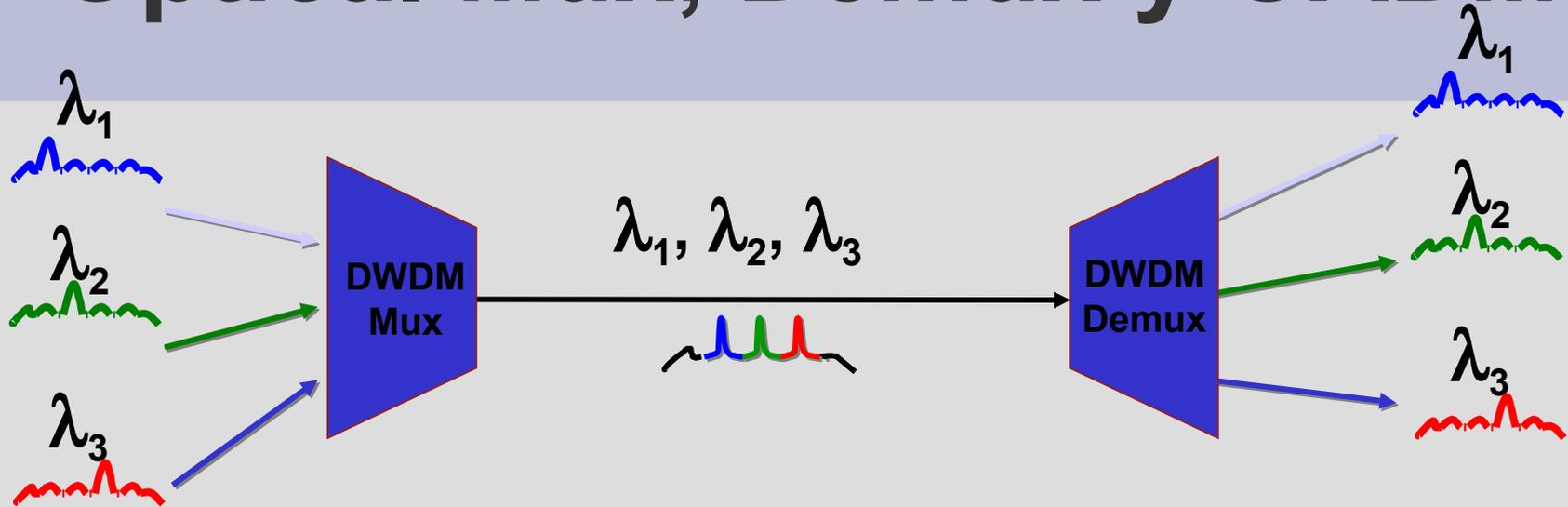


**Terminal/Client  
Equipment**

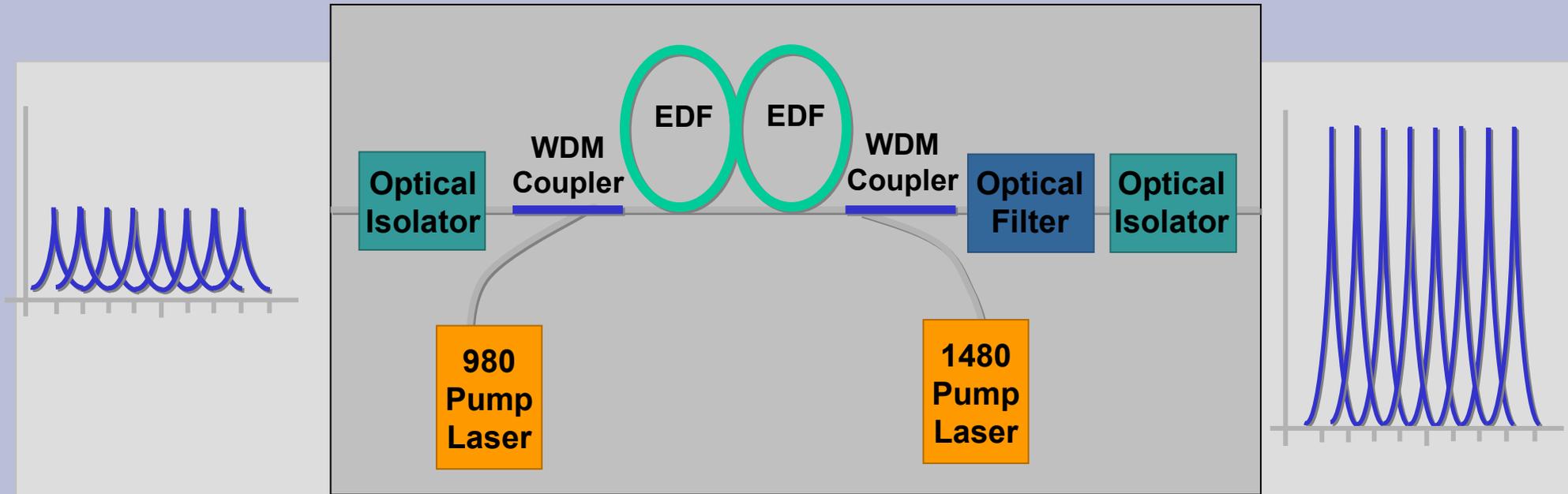
**DWDM  
MUX/DEMUX**

- Convierte la senial del laser en una senial acondicionada para el DWDM y viceversa
- Se requiere un transponder por cada lambda
- Realiza Signal reshape, retiming y regeneration
- Viene TE 850/1310/1550 nm, en el lado del DWDM usa 15xx nm

# Optical Mux, Demux y OADM



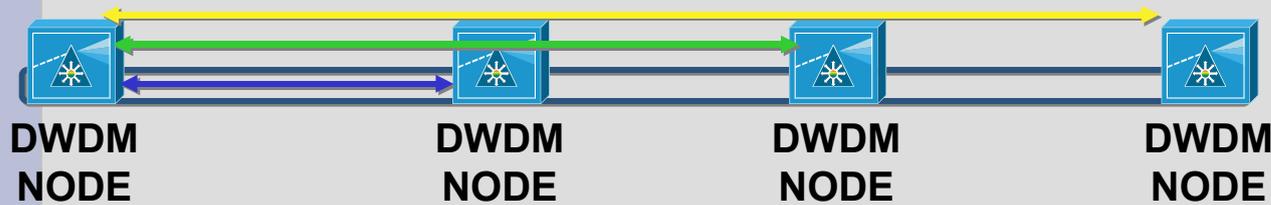
# Optical Amplifier (EDFA)



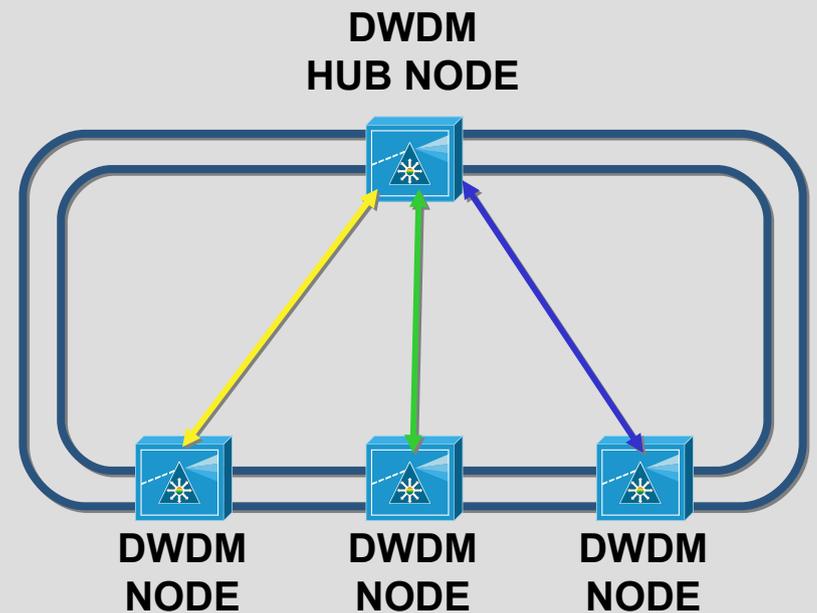
- Amplificación sin usar conversión opto-electrónica
- Permite transporte DWDM más efectivo
- Más utilizado Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

# DWDM Topologia

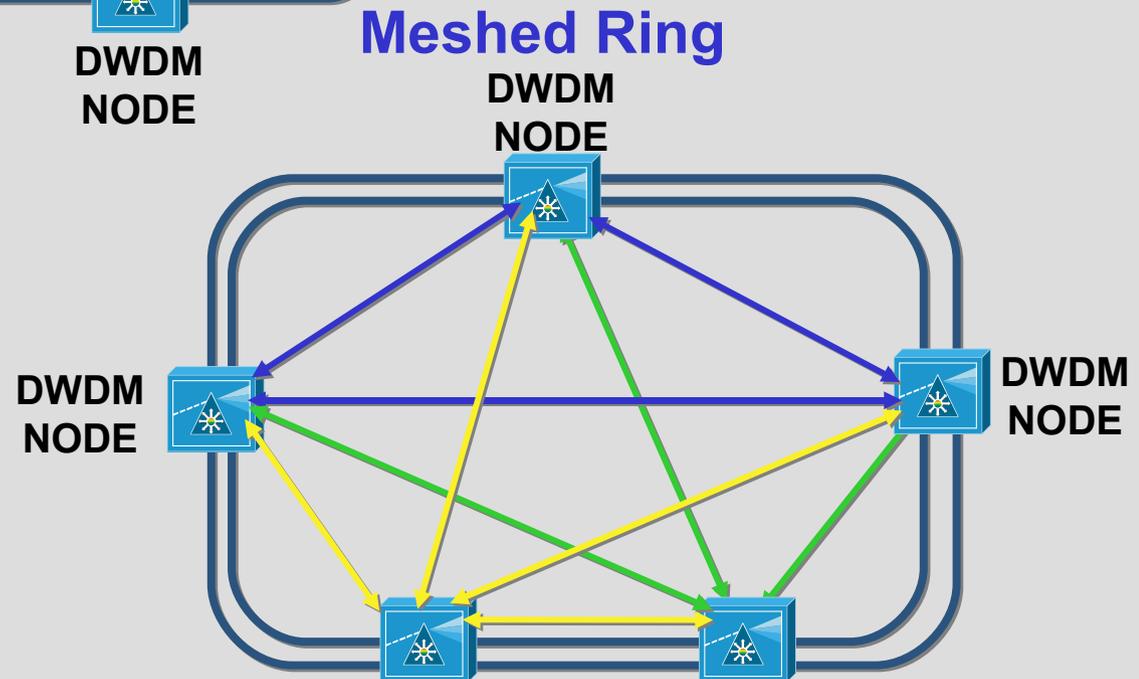
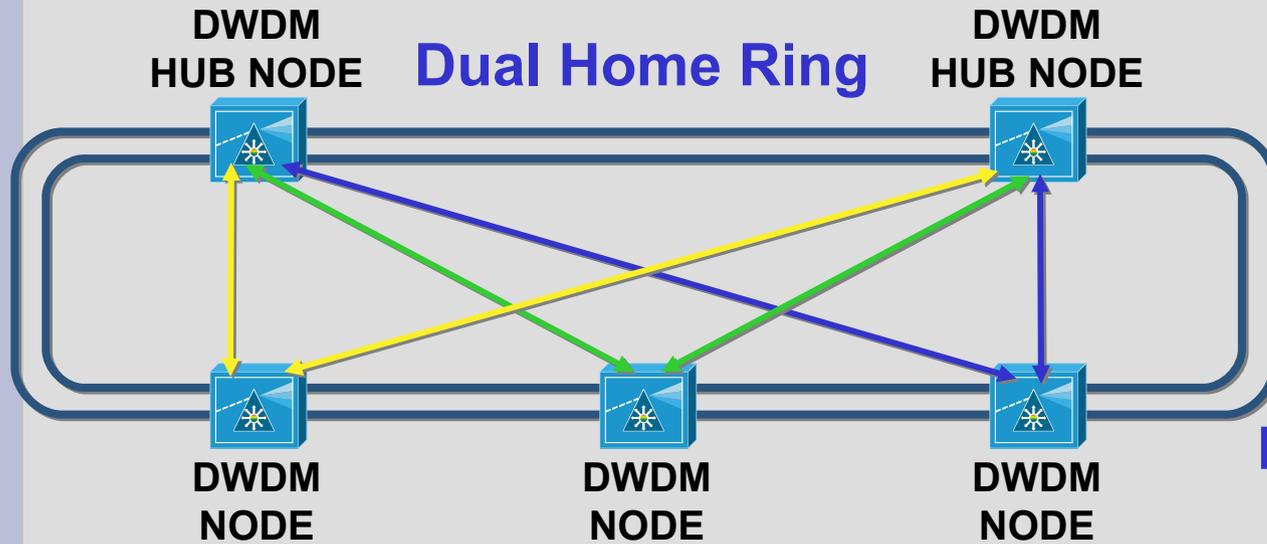
Linear



Hubbed Ring

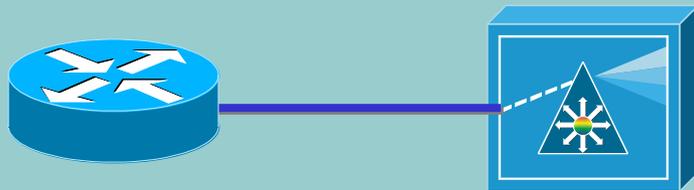


# DWDM Network Topology

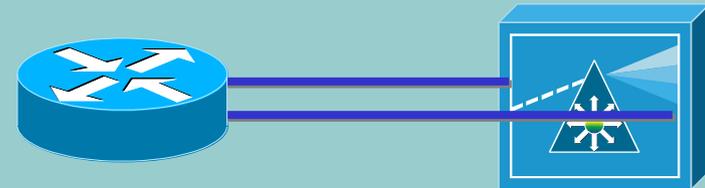


# DWDM Protection

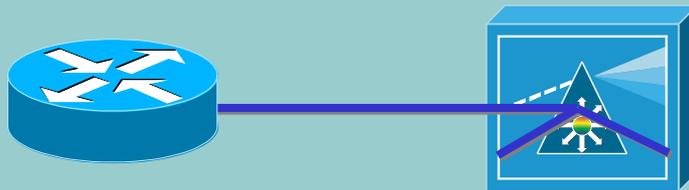
## Unprotected



## Client Protected



## Splitter Protected

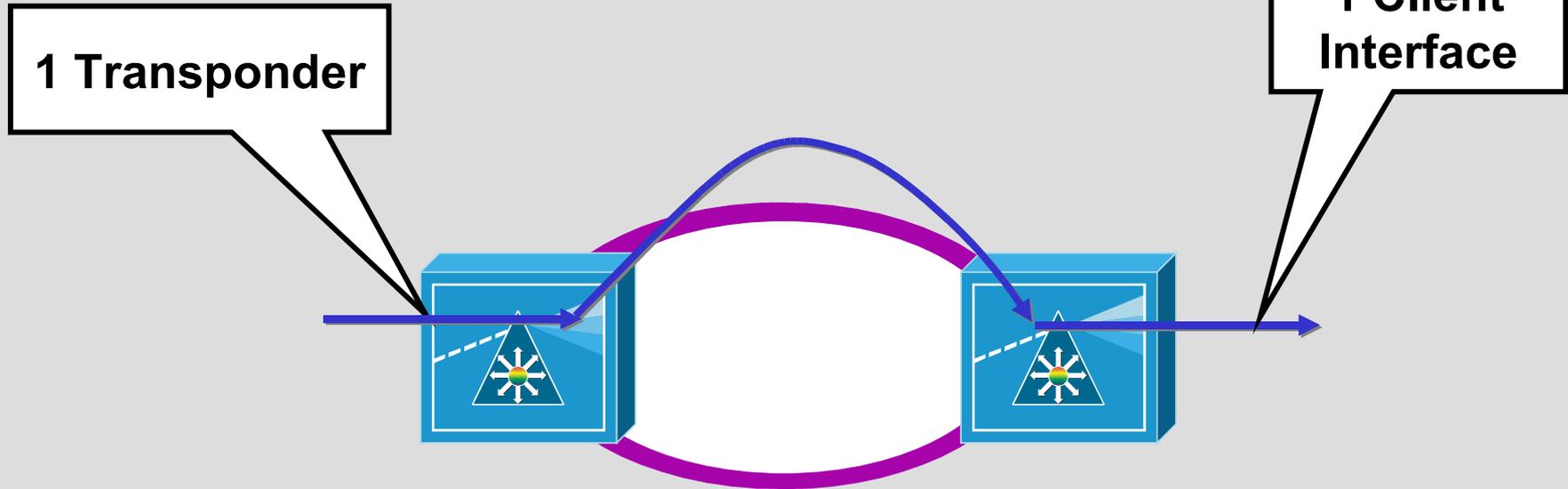


**DWDM Node/Equipment**

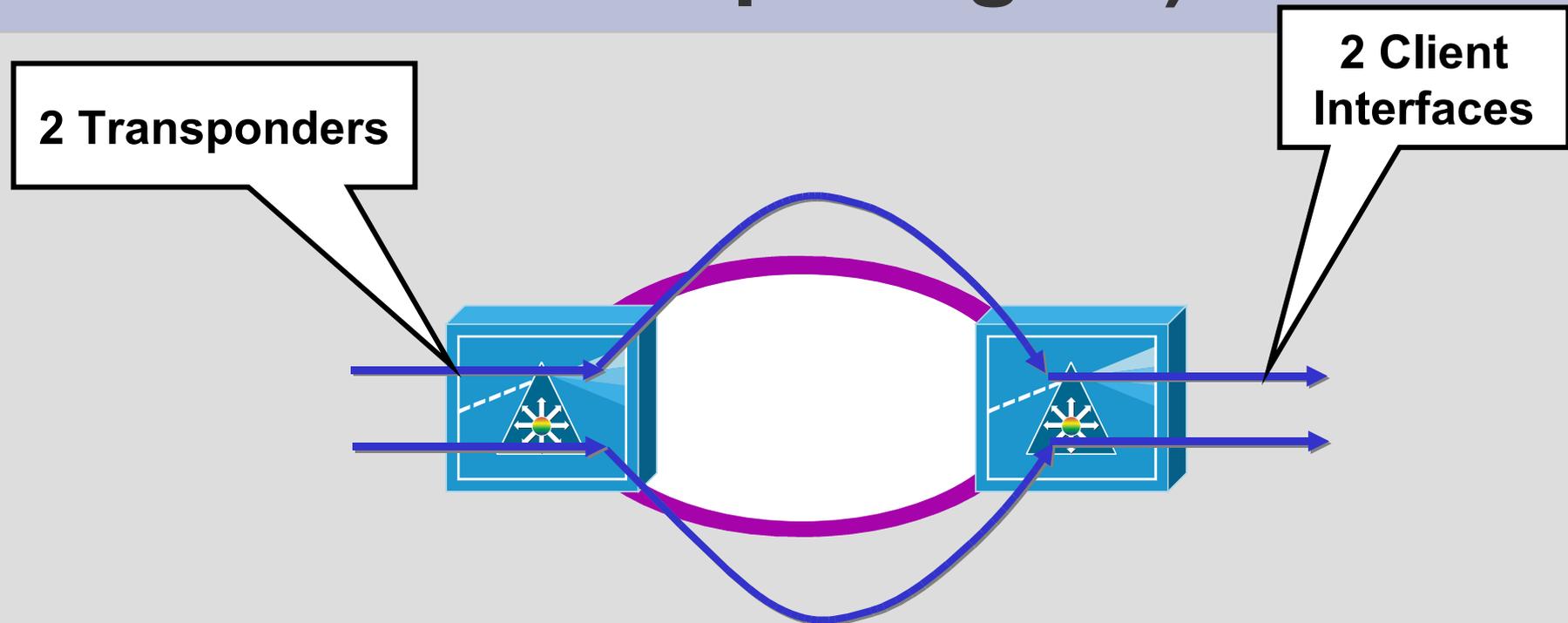


**Client Equipment**

# Unprotected(no protegido)

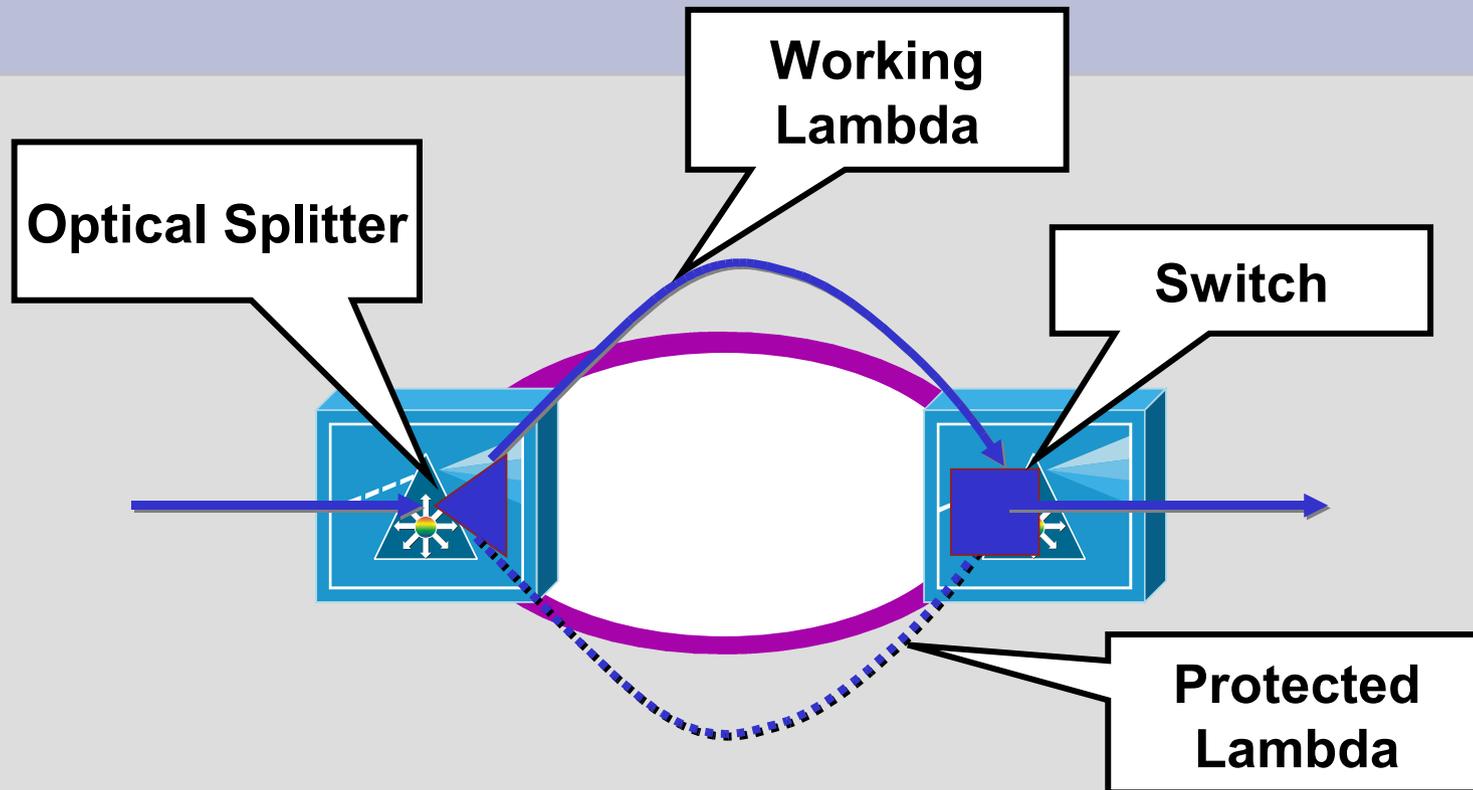


# Client Protected Mode(modo cliente protegido)



- Dos interfaces cliente y dos DWDM lasers(2 transponder), dos caminos opticos no protegidos
- Proteccion via SONET, Layer 3 routing, Hot Standby Router Protocol, EtherChannel

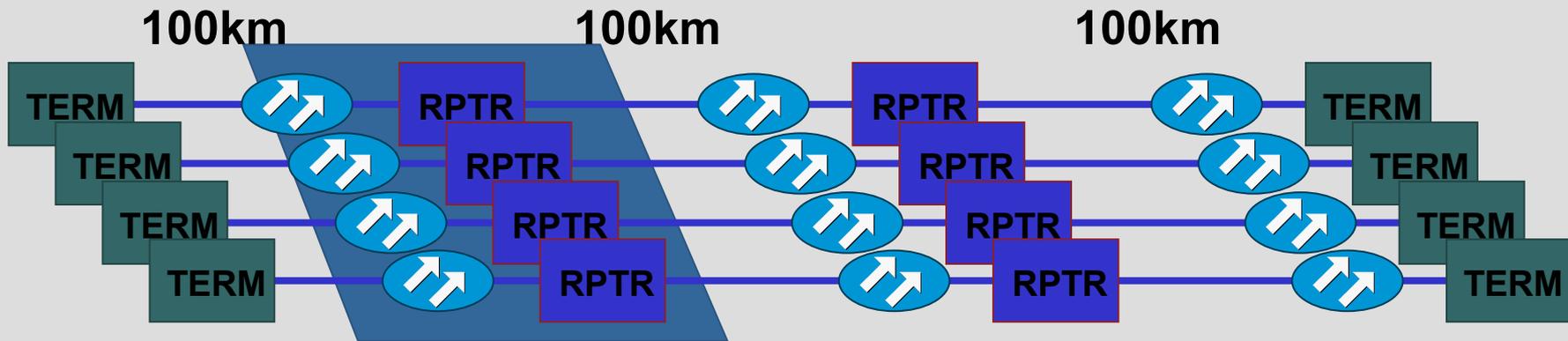
# Optical-Splitter Proteccion



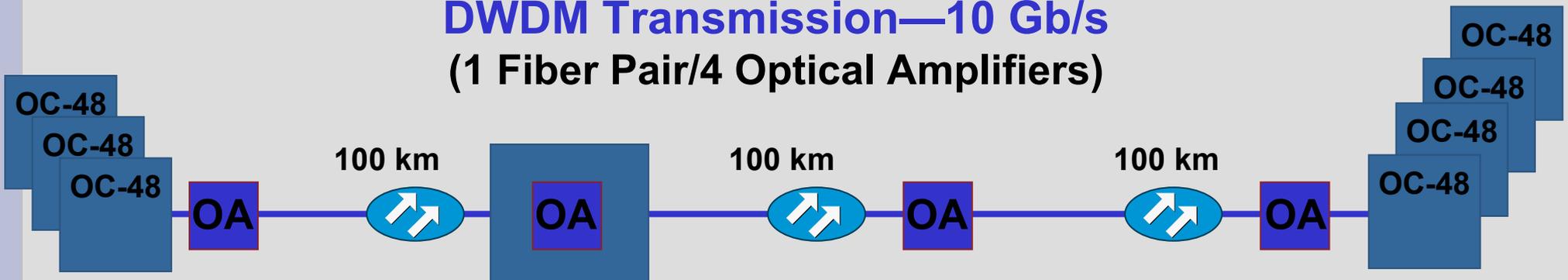
- Solamente un cliente y un enlace laser(solo un transponder)
- Per-fiber switch o per-lambda splitter

# DWDM Analisis economico

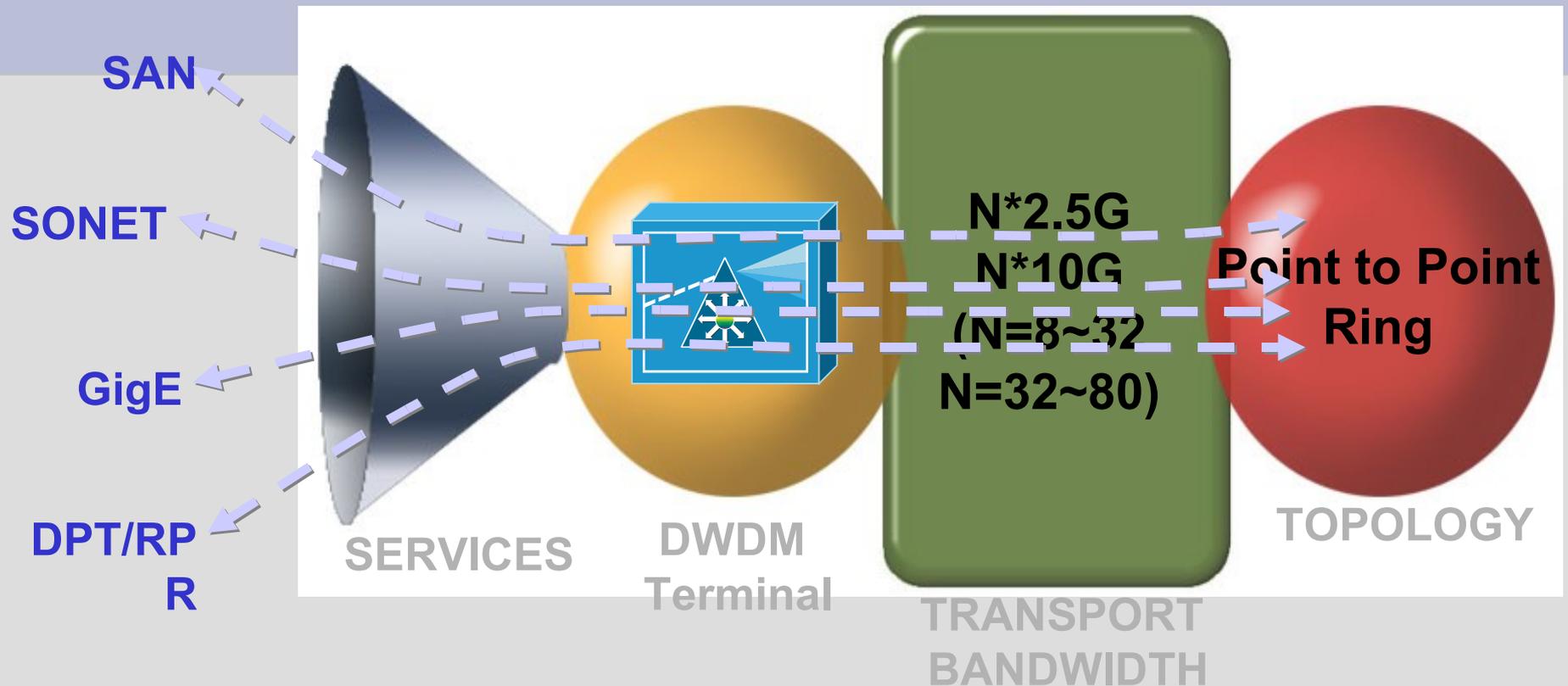
## Conventional TDM Transmission—10 Gbps (4 Fiber Pairs/8 Regenerators)



## DWDM Transmission—10 Gb/s (1 Fiber Pair/4 Optical Amplifiers)

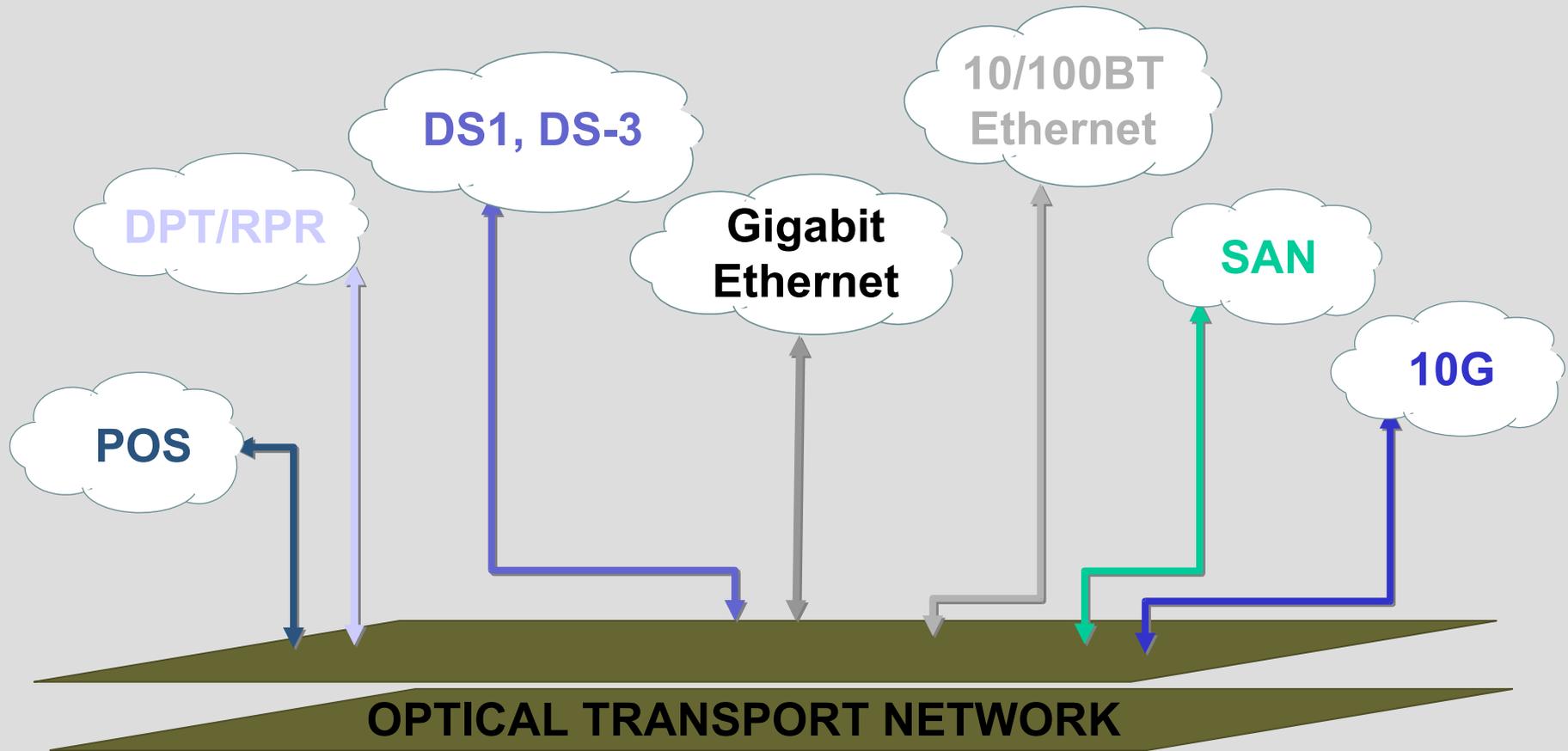


# Servicios sobre DWDM



- SAN (Storage Area Networks)
- SONET (OC-N)
- GigE
- DPT/RPR

# Servicios sobre Optical Network



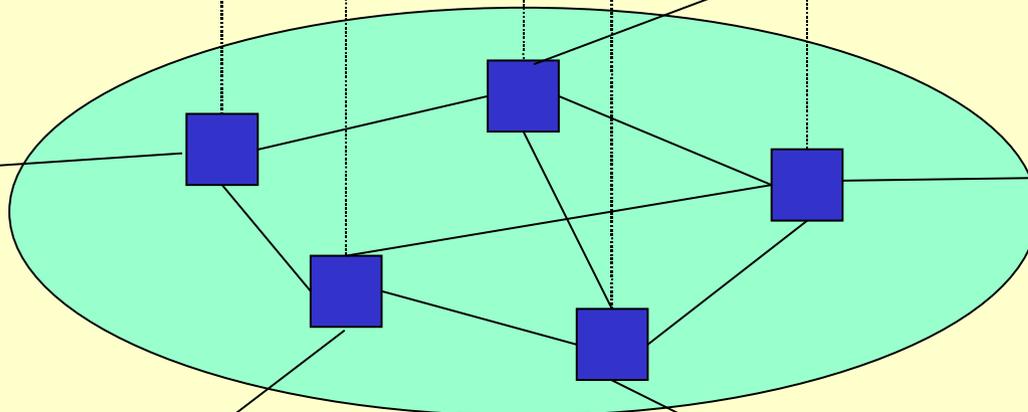
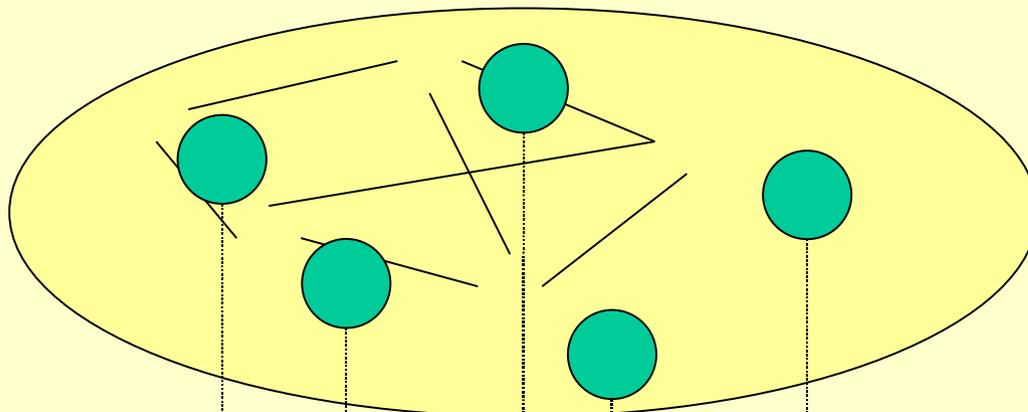


# Plano de control y plano de datos

- El plano de control escoge y reserve un camino determinístico y con ancho de banda garantizado para una conexión requerida.
  - routing + signaling
- El plano de datos es separado del plano de control en orden de dar velocidad para forwarding(envío).

Control plane  
(routing + signaling)

Optical  
Transport  
Network

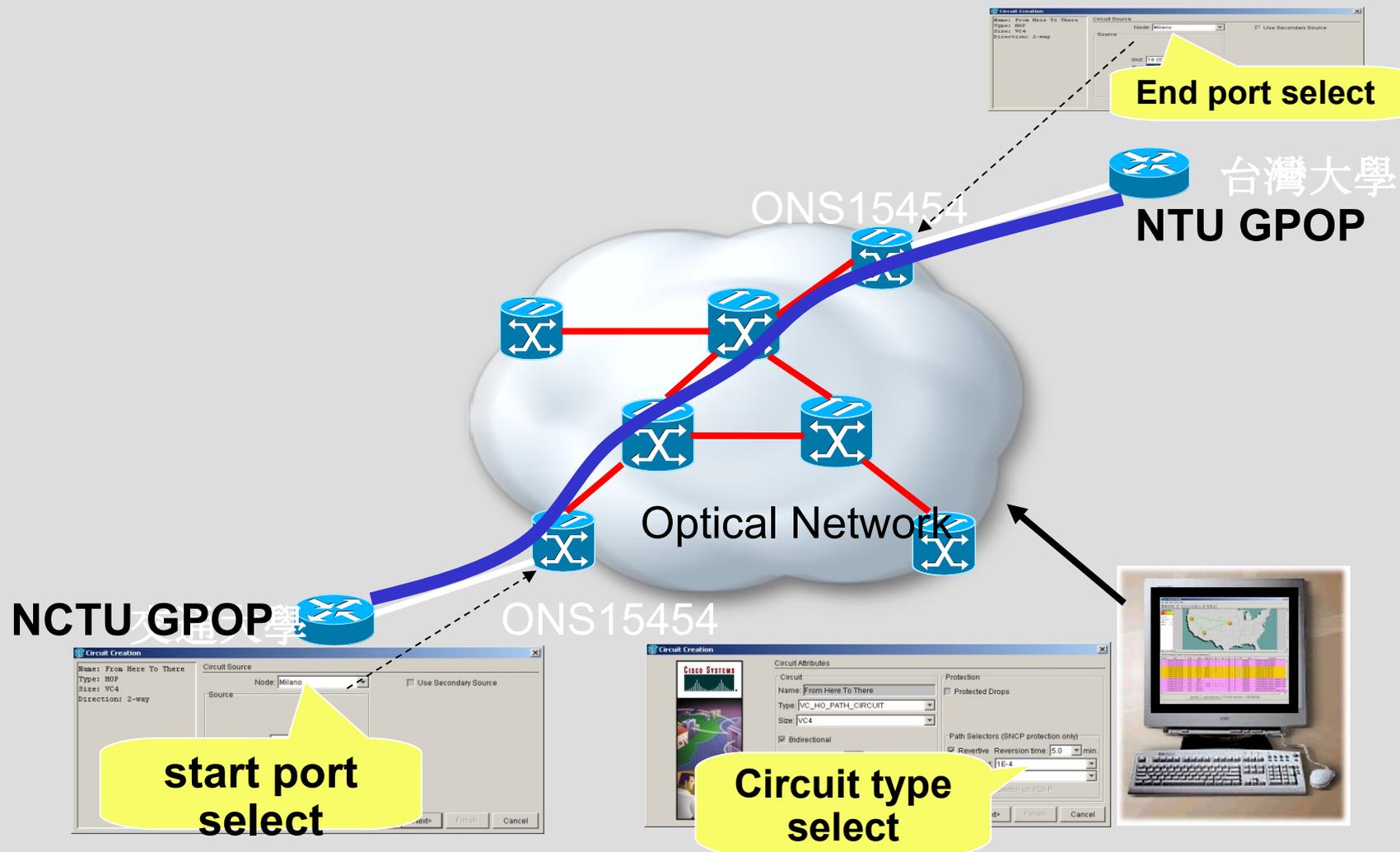


Data Plane  
(forwarding only)

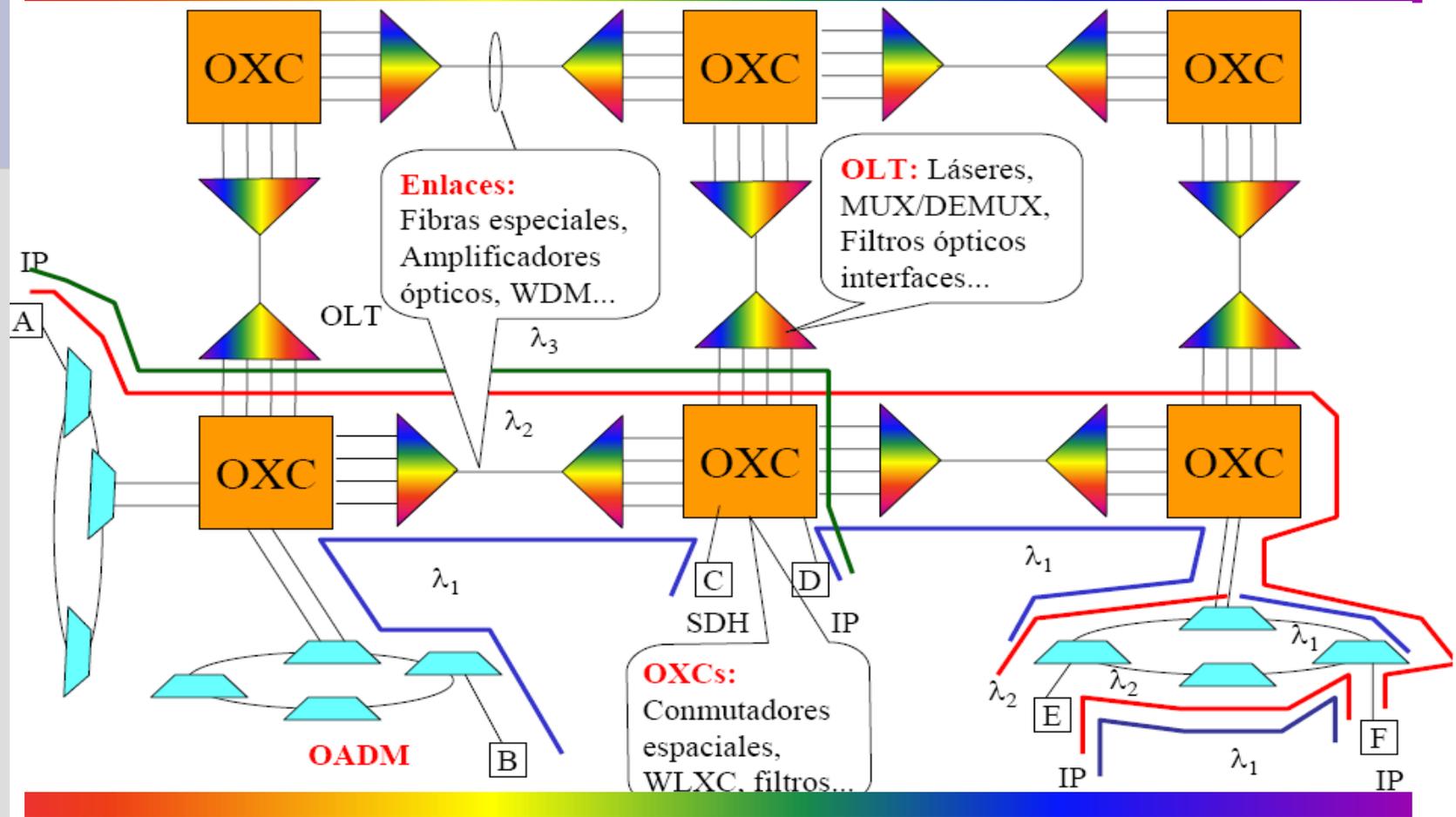
# Definicion de Lightpath

- U lightpath es un canal punto a punto el mismo que es tomado por el NIC como una linea dedicada con un nivel de servicio garantizado.
  - Premium-class IP flow
  - SONET/SDH TDM channel
  - WDM wavelength
  - MPLS layer-2 VPN
  - Cualquier combinacion de los items anteriores

# Layer-1 Provisioning(creacion de circuitos ethernet por software)



# COMPONENTES AVANZADOS



- **Terminales Ópticos de Línea (OLTs)**
- **Multiplexores de Adición/Extracción (Add/Drop Multiplexers ó OADMs)**
- **Matrices de Conmutación Ópticas (Optical Cross-Connects ó OXCs)**

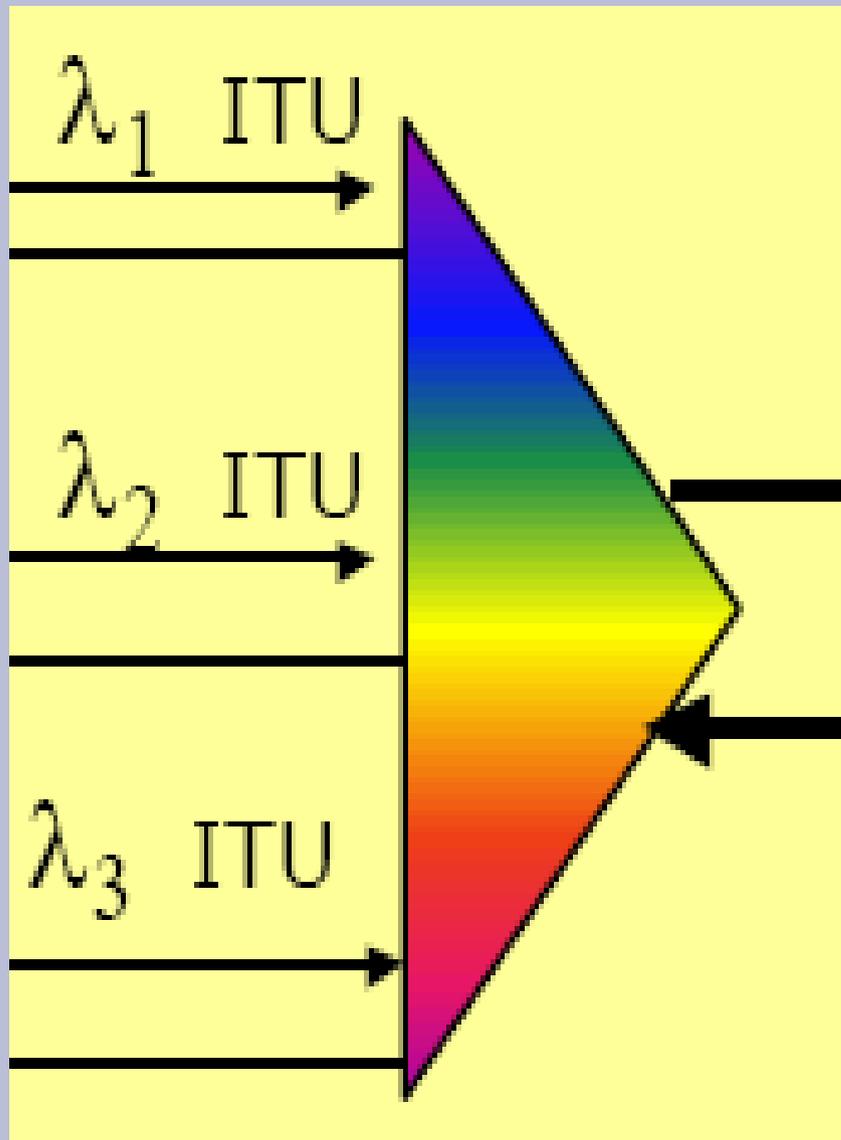
- Reutilización de las longitudes de onda
- Conversión de longitud de onda
- Transparencia

- Conmutación de

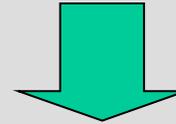
- Supervivencia
- Topología de caminos ópticos



# Terminales ópticos de línea (OLTs)



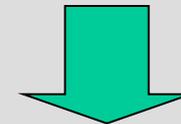
**Misión fundamental**



Multiplexan varias  $\lambda$ 's en una fibra  
Demultiplexan la señal en  $\lambda$ 's  
individuales



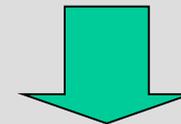
**Empleados en**



enlaces punto a punto



**Para adaptar la señal pueden incluir**



Multiplexores  
Amplificadores  
Transpondedores

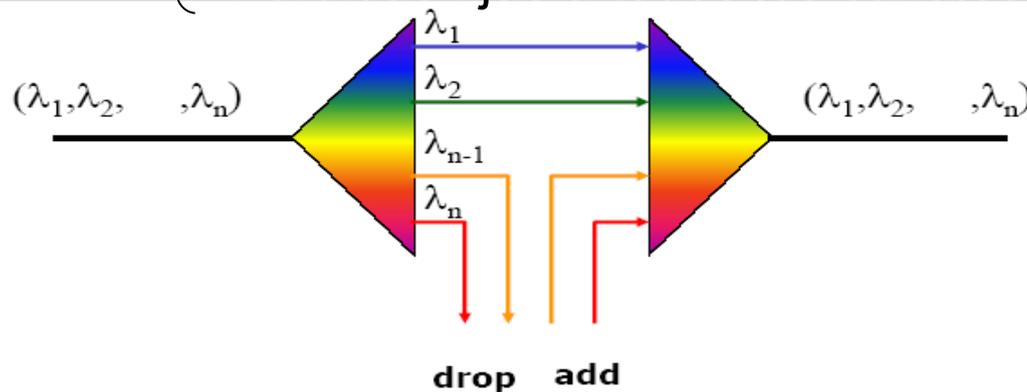
# Multiplexores Add/Drop (OADMs)

## Configuraciones

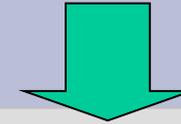


### Paralelo

- Sensible a variaciones de  $\lambda$
- Más cara
- Pérdidas fijas a todos los canales



## Misión fundamental



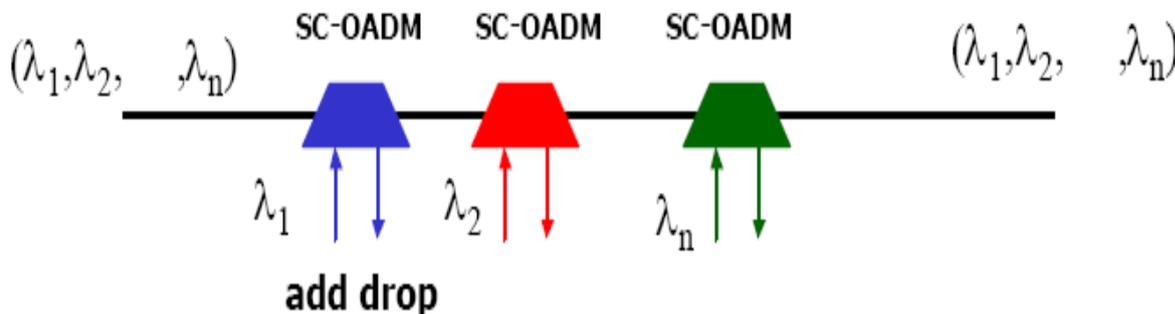
Insertar o extraer canales  
Reencaminarlos a otros destinos

## Características

- Topologías lineales o en anillo
- Eficientes gestión tráfico redes Metro y WAN.
- Redes de larga distancia con amplificadores ó solos.

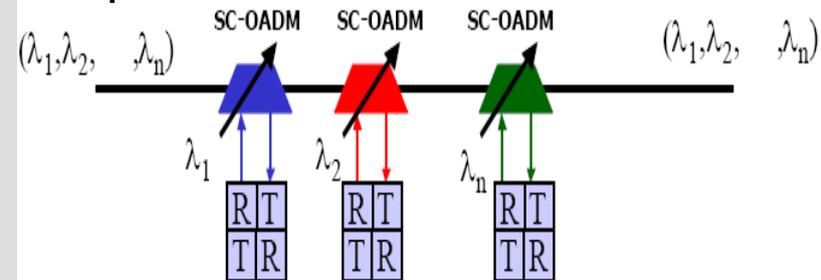
### Serie

- Añade/extrae un canal con cada OADM
- Planificación compleja
- Aumentan pérdidas según canales a extraer

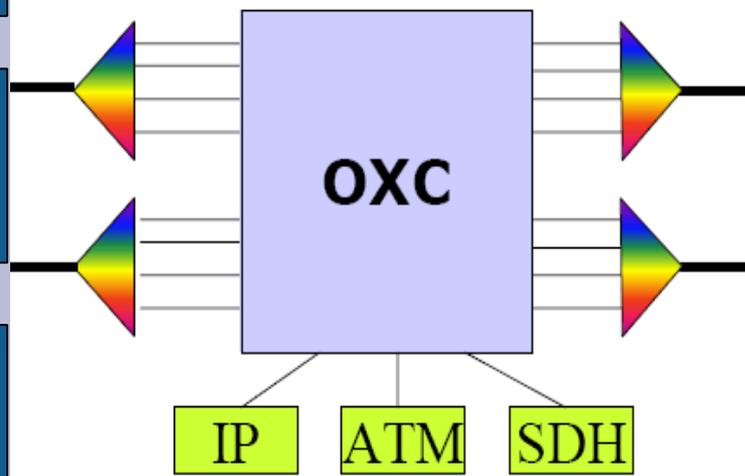


## Alternativa

OADM sintonizables facilitan la planificación de red



# Conmutadores ópticos (OAXCs)



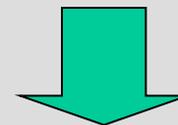
## Características

- Topologías complejas
- Todo óptico o híbrido
- Detectan fallos de red
- Reencaminan el tráfico
- Permite "Grooming"
- Protección
- Conversión  $\lambda$ 's
- Monitorización

## Partes funcionales

- Núcleo de conmutación
- Zona de puertos

## Modo Funcionamiento



- **Estáticos** → el puerto de salida es fijo
- **Reconfigurables** → enruta cualquier puerto salida

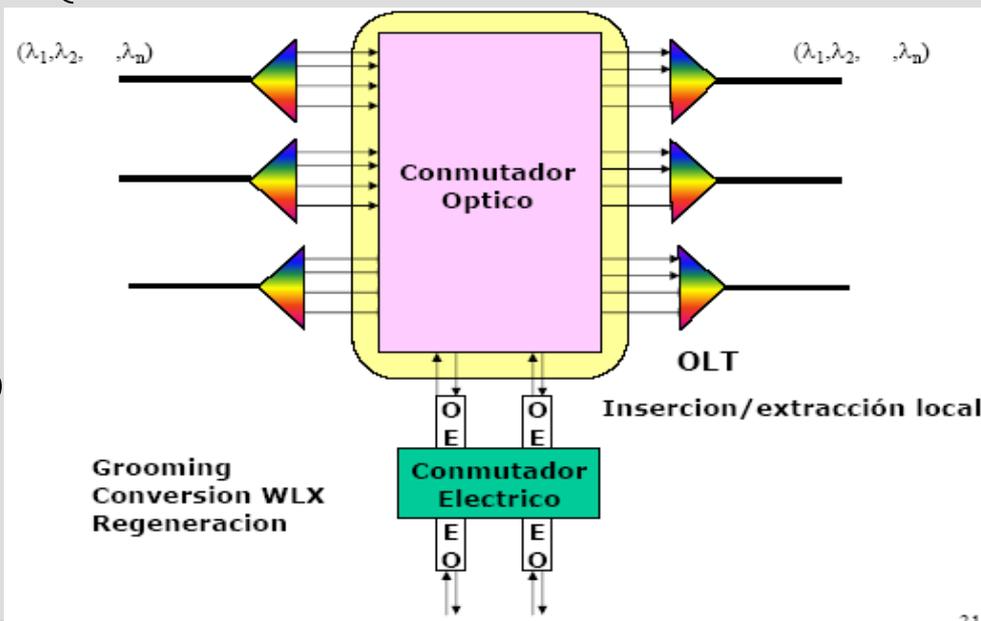
## Todo óptico

- No agrupa tráfico de baja velocidad
- No regenera señales
- No realiza conversión de  $\lambda$ 's

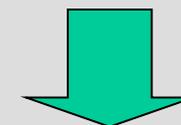


## Solución

Incorporar pequeño núcleo eléctrico



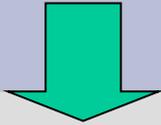
## Tecnologías



- Mecánicos
- Micro Electro Mecánicos
- Termo-ópticos
- De Burbuja
- Basado en amplificadores
- De Cristal Líquido
- Electrónicos

# Tipos Conmutadores ópticos (OAXCs)

## Conmutadores Micro Electro Mecánicos (MEMs)



- Los MEMs son dispositivos mecánicos en miniatura que se fabrican sobre substratos de Si
- En el contexto óptico, son generalmente espejos móviles en miniatura de dimensiones que van desde el orden de micras a unos pocos milímetros
- En una oblea de Si pueden fabricarse cientos que luego pueden agruparse en arrays
- Los espejos se deflecan mediante señales de control varias (electromagnéticas, electrostáticas, piezoeléctricas, etc)

## MEMs 2D



## Ventajas



- Pequeño tamaño
- Bajo consumo de potencia
- Fabricación por lotes
- Alta velocidad conmutación

# Tipos Conmutadores ópticos (OAXCs)

## Conmutadores Micro Electro Mecánicos (MEMs)

### MEMs 3D

Espejo rotatorio sobre marco controlado por señal analógica

#### Ventajas

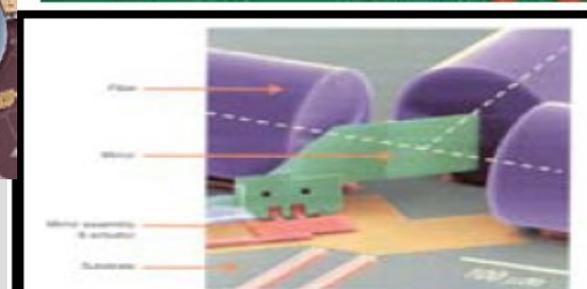
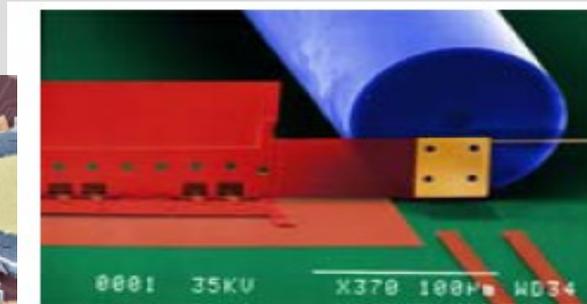
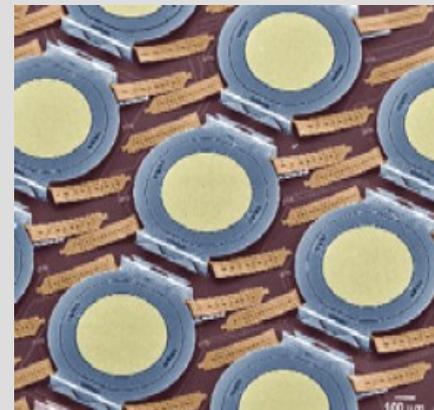
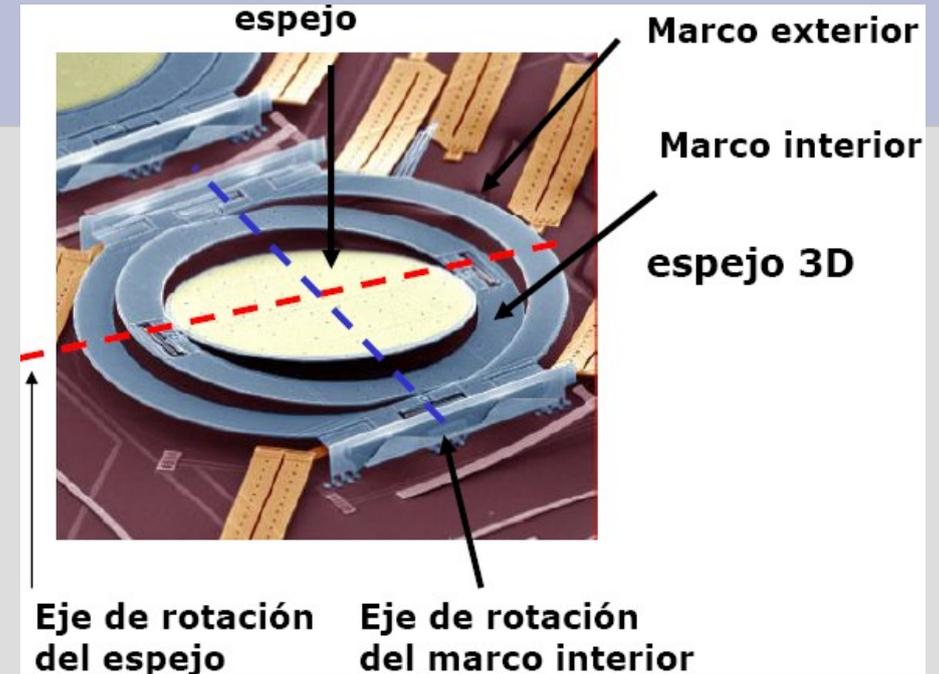


- Mas pequeño que MEMs 2D
- Menor consumo de potencia
- Integración formando matrices
- Alta velocidad conmutación

#### Inconvenientes



Complejo mecanismo para control espejos (Servocontrol)



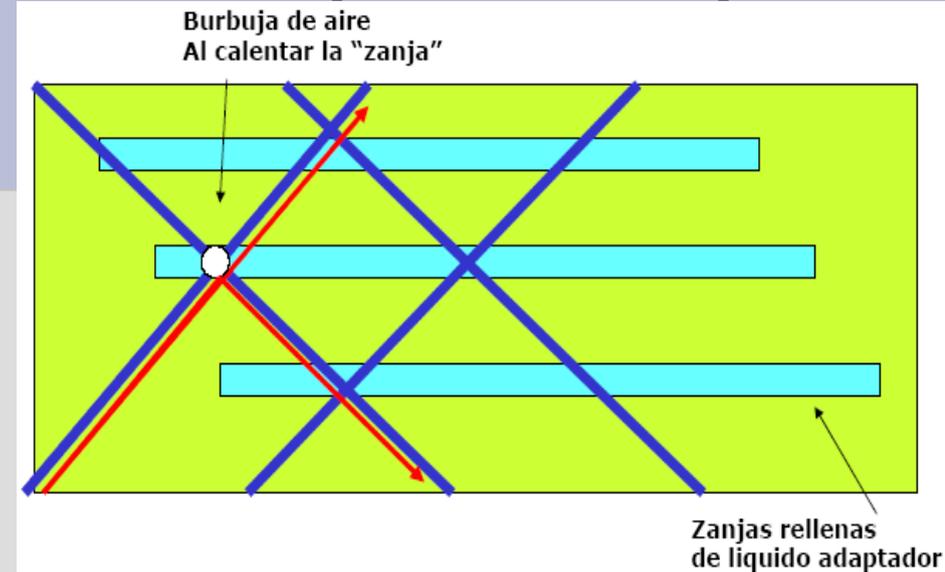
# Tipos Conmutadores ópticos (OAXCs)

## Conmutadores de Burbuja

Guías de onda impresas con fluido que al calentarse forma una burbuja de aire, provoca la reflexión de la señal

### Inconvenientes

- Hay que mantener la burbuja el tiempo que esté fijo el *lightpath* → Entorno hermético
- Inestabilidad del haz al pasar por la burbuja

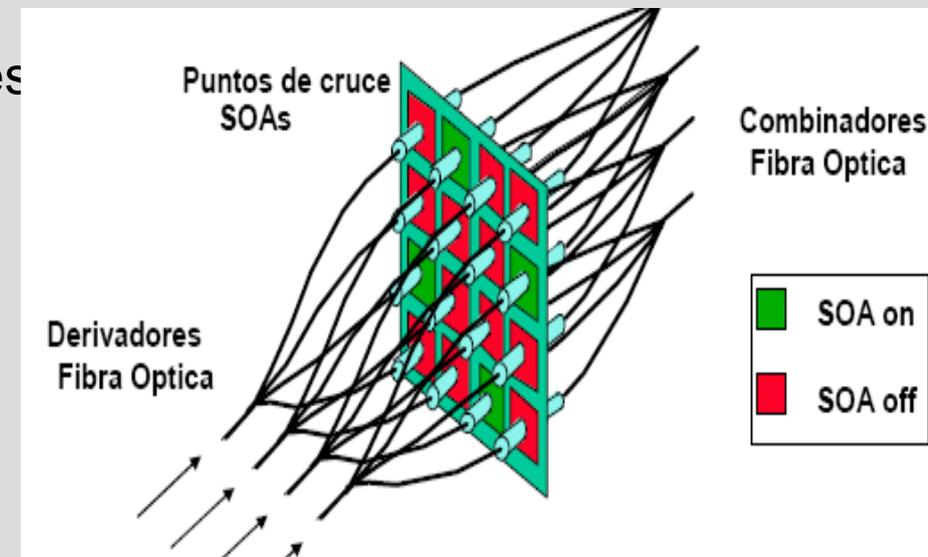


## Conmutadores basados en amplificadores

Amplificadores ópticos usados como interruptores

### Características:

- Dispositivo caro
- Baja escalabilidad
- Difusión
- Alta velocidad
- Pérdidas nulas
- Alto nivel de ruido de los amplificadores



# Tipos Conmutadores Ópticos (OAXCs)

## Conmutadores de Cristal Líquido

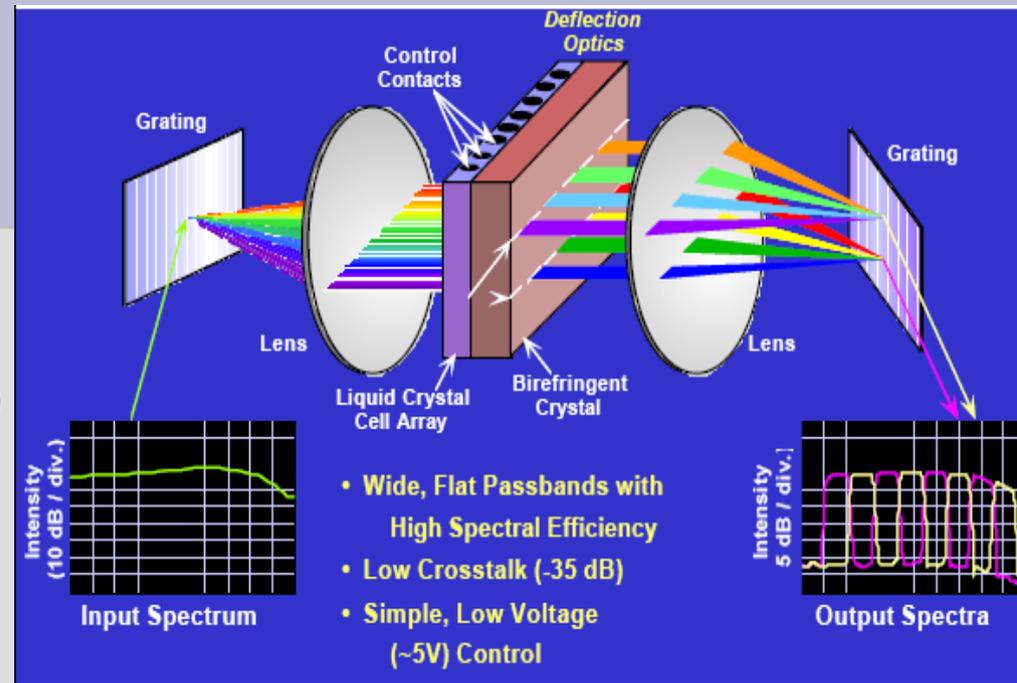
- Celdas de cristal líquido
- Señales polarizadas según la tensión aplicada a esa celda.

### Ventajas

- Conmutación paralela de múltiples  $\lambda$ 's
- Alta escalabilidad (número grande de  $\lambda$ 's)
- Baja diafonía

### Inconvenientes

- Baja velocidad
- Dependencia con la polarización
- Sensibles a la temperatura



## Conmutadores electrónicos

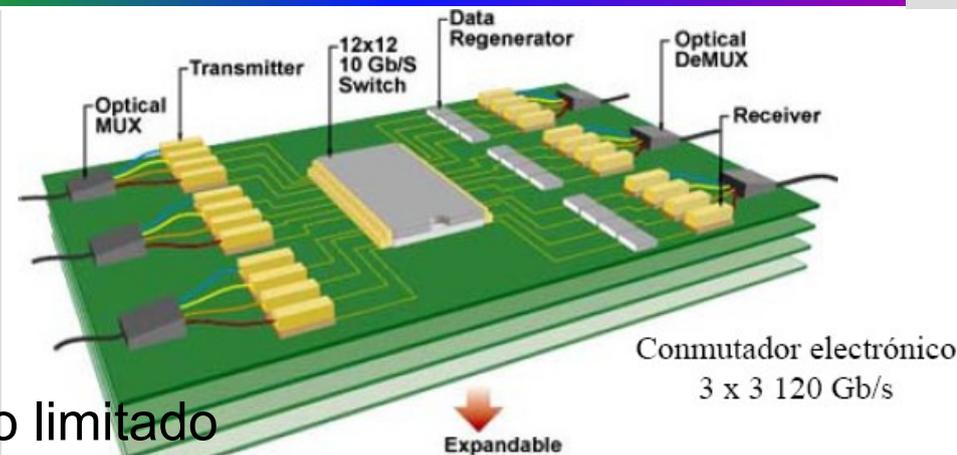
- Conversores opto-electrónicos en entrada
- Conversores electrónico-ópticos en salida

### Ventajas

- Bajo coste, alto volumen de procesado
- Insensible a las pérdidas
- Permite intercambio de  $\lambda$ 's
- Integración a gran escala

### Inconvenientes

- Funcionamiento limitado
- Sensible diafonía y jitter
- Necesita redundancia

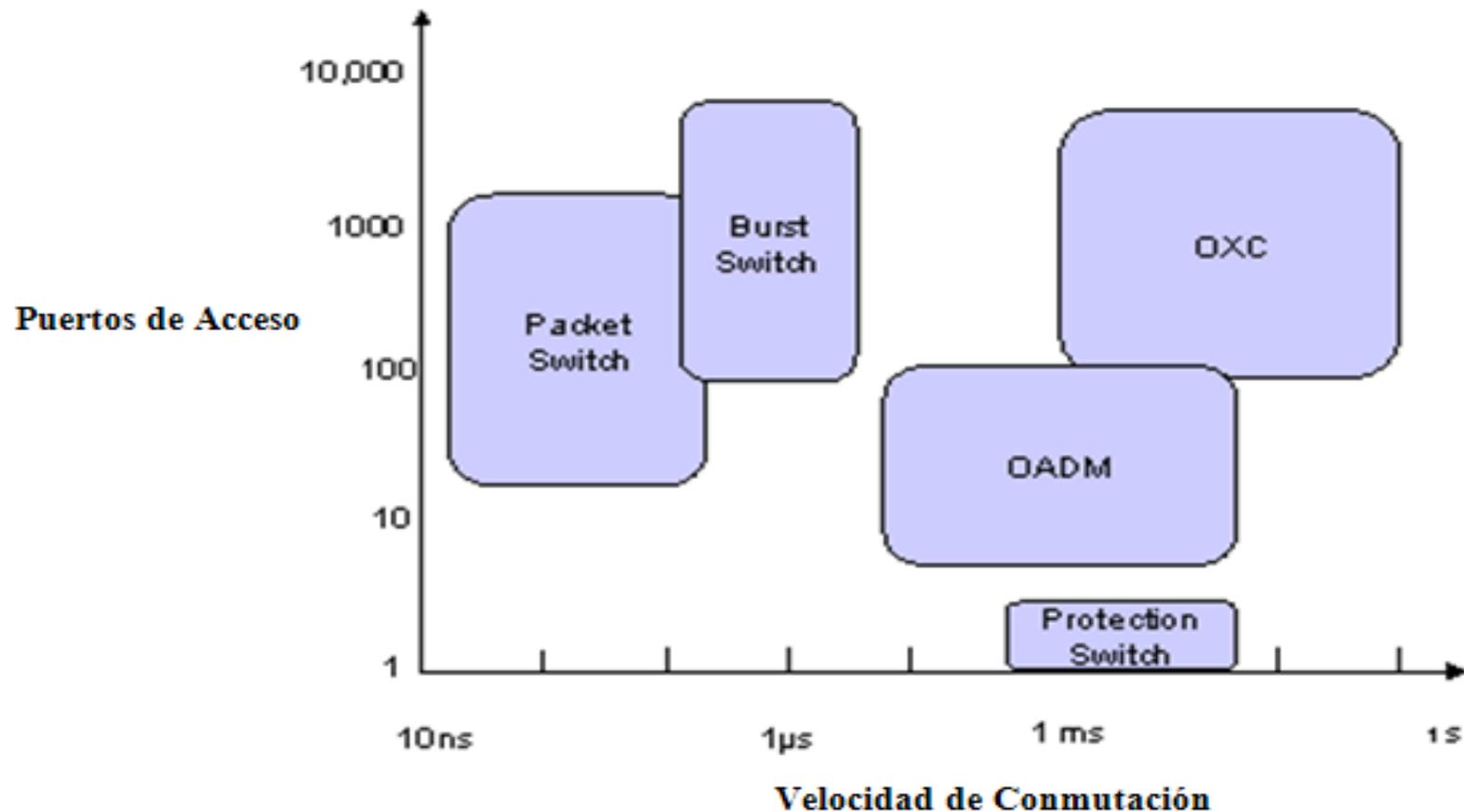


# Tipos Conmutadores Ópticos (OAXCs)

TIPO	TAMAÑO	PÉRDIDAS (dB)	DIAFONÍA (dB)	PDL (dB)	TIEMPO DE CONMUTACIÓN	OBSERVACIONES
Mecánico	8x8	3	55	0.2	10 ms	Bajas pérdidas, gran tamaño
MEMS 2D	32x32	5	55	0.2	10 ms	Baja diafonía, Insensibles a la longitud de onda y la polarización, Transparencia, gran tamaño
MEMS 3D	1000x1000	5	55	0.5	10 ms	
TERMO-ÓPTICO	8x8	8	40	Baja	3 ms	Integración con mux/demux, escalable en $\lambda$ , requiere dilatación,
BURBUJA	32x32	7.5	50	0.3	10 ms	
CRISTAL LÍQUIDO	2x2	1	35	0.1	4 ms	
E-O LiNbO <sub>3</sub>	4x4	8	35	1	10 ps	Sensible con la polarización, altas pérdidas, requiere dilatación
SOA	4x4	0	40	Baja	1 ns	
Electrónico	NxN					

# Futuro de OXC

## Requerimientos Técnicos



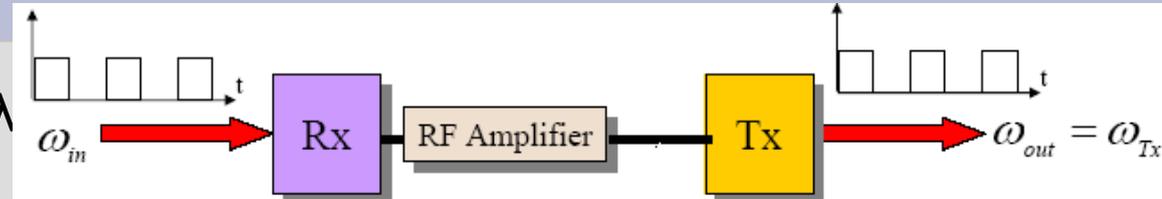
# Conversores de longitud de onda

- Convierten la  $\lambda$  de la portadora óptica a otra distinta.
- Complica los OXC, reduce las Pb, aumenta la eficiencia de utilización de las  $\lambda$ 's

## Tecnologías de conversión

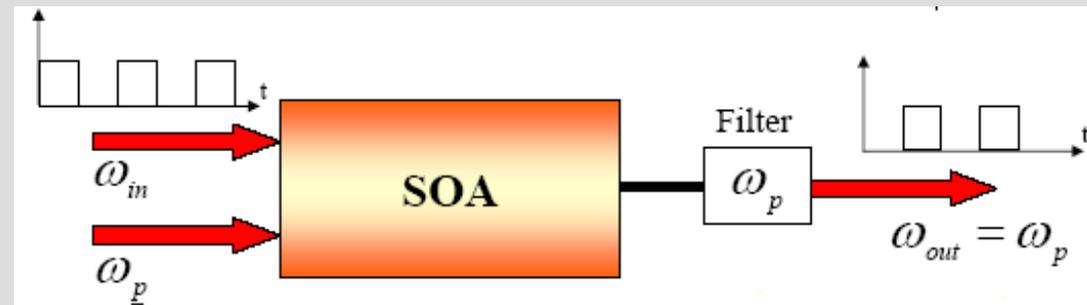
### • Optoelectrónica

Empleando otro láser que emite a una  $\lambda$  distinta a la inicial. Práctico y más utilizado.



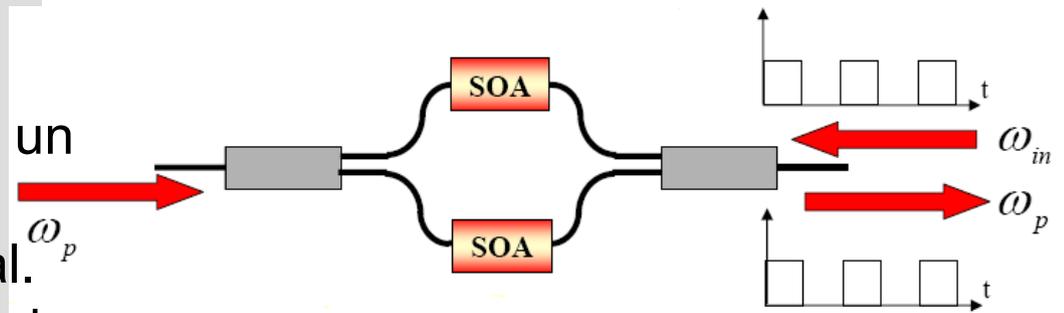
### • Mediante "Optical Gating"

La respuesta del dispositivo cambia dependiendo de la intensidad de una señal de entrada.



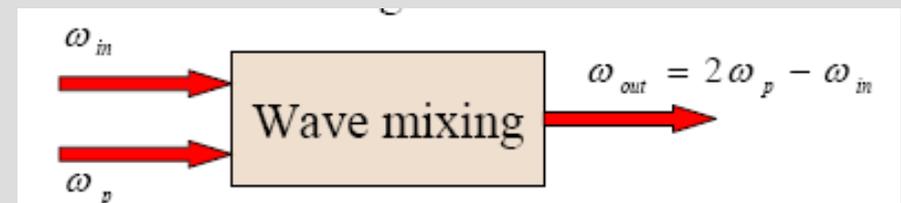
### • Mediante técnicas interferométricas

Varían los portadores en el SOA produce un cambio en el índice de refracción, que provoca la modulación de fase de la señal. Es convertida en modulación de intensidad en un interferómetro Mach-Zehnder

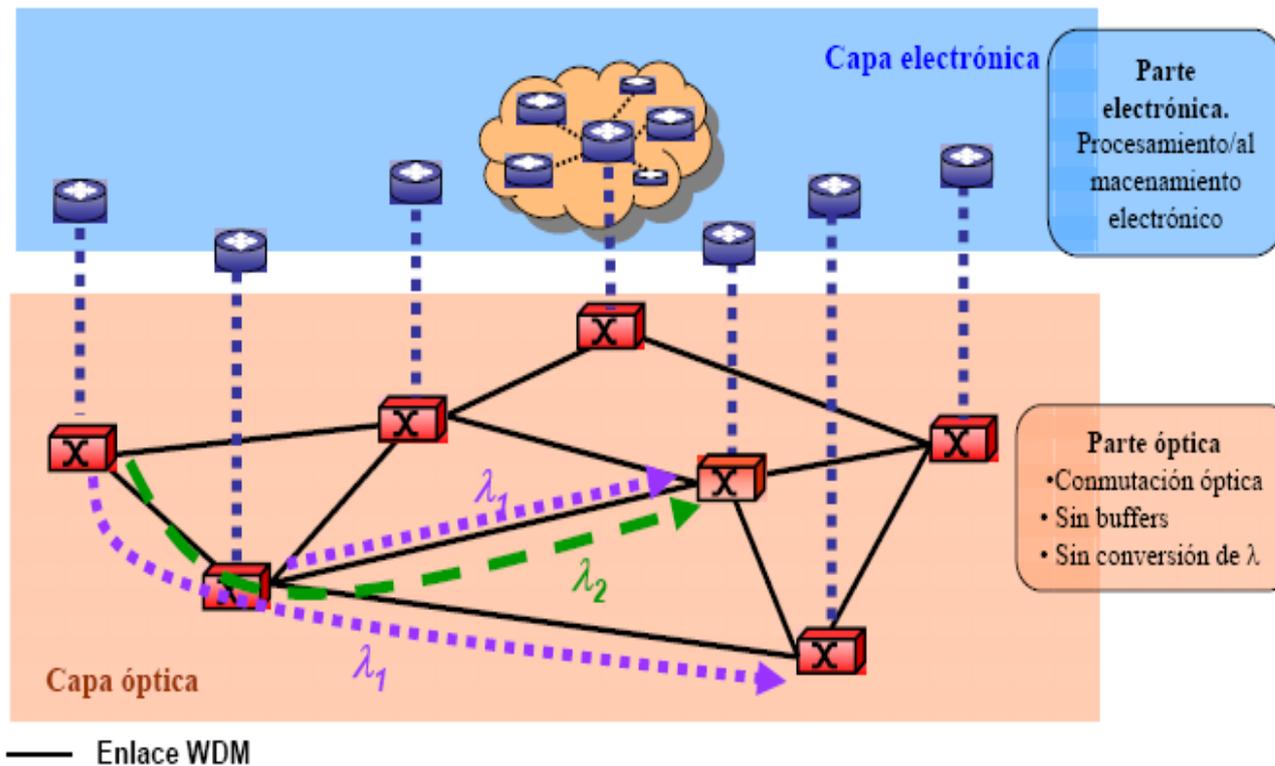


### • Mediante mezclado de ondas

Mezclado de cuatro ondas para conseguir la conversión de  $\lambda$



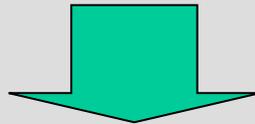
# ROUTING AND WAVELENGTH ASSIGNMENT



- Lightpaths asignados antes de que la red comience a operar
- Dos conexiones no usan la misma  $\lambda$  en el mismo enlace

# ROUTING AND WAVELENGTH ASSIGNMENT

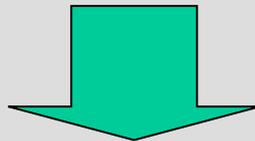
Para conectar pares de nodos origen-destino es necesaria una ruta con una longitud de onda continua.



Pero... - longitudes de onda disponibles  
- número de enlaces limitado

**PROBLEMA:**

Número de lightpaths que se puedan establecer limitado



RWA : establecen los lightpaths resolviendo de forma eficiente los dos problemas

- 1) Problema de enrutamiento**
- 2) Asignación de longitud de onda**

# TRÁFICO ESTÁTICO / DINÁMICO

**Tráfico estático:** Pares de nodos fuente-destino son fijos.



- Objetivo: > Minimizar el número de longitudes de onda para establecer un cierto número de conexiones.
- > Maximizar el número de conexiones para un número dado de longitudes de onda disponibles

**SLE: static lightpath establishment**

**Tráfico dinámico:** Requerimientos de conexión arriban y terminan desde la red uno por uno aleatoriamente .



- Objetivo: > minimizar la probabilidad de bloqueo de conexión

**DLE: dinamic lightpath establishment**

# Static lightpath establishment

Estático

## 1) Enrutamiento

Búsqueda:

- *Shortest-Path* : camino más corto
- *Weight-Shortest-Path* : peso según un criterio
- *K-Shortest-Path* : busca k rutas alternativas

Selección:

- Selección secuencial (Greedy)
- Selección combinatoria.

## 2) Asignación de longitud de onda

Búsqueda:

- buscar las longitudes de onda disponibles

Selección secuencial

- Orden:
- Aleatorio
  - Mayor número de Saltos
  - Menor número de Saltos

Norma:

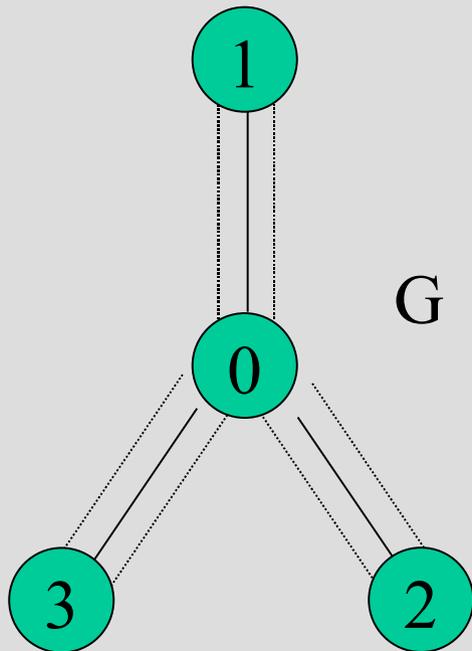
- Aleatoria
- Primera  $\lambda$  disponible

# Static lightpath establishment

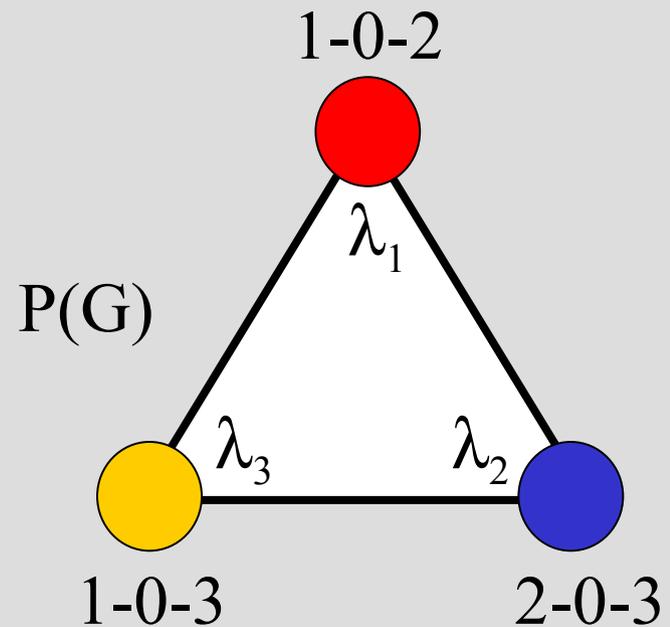
## 2) Asignación de longitud de onda:

Por último se utilizan técnicas basadas en el coloreo secuencial de grafos.

**RED**

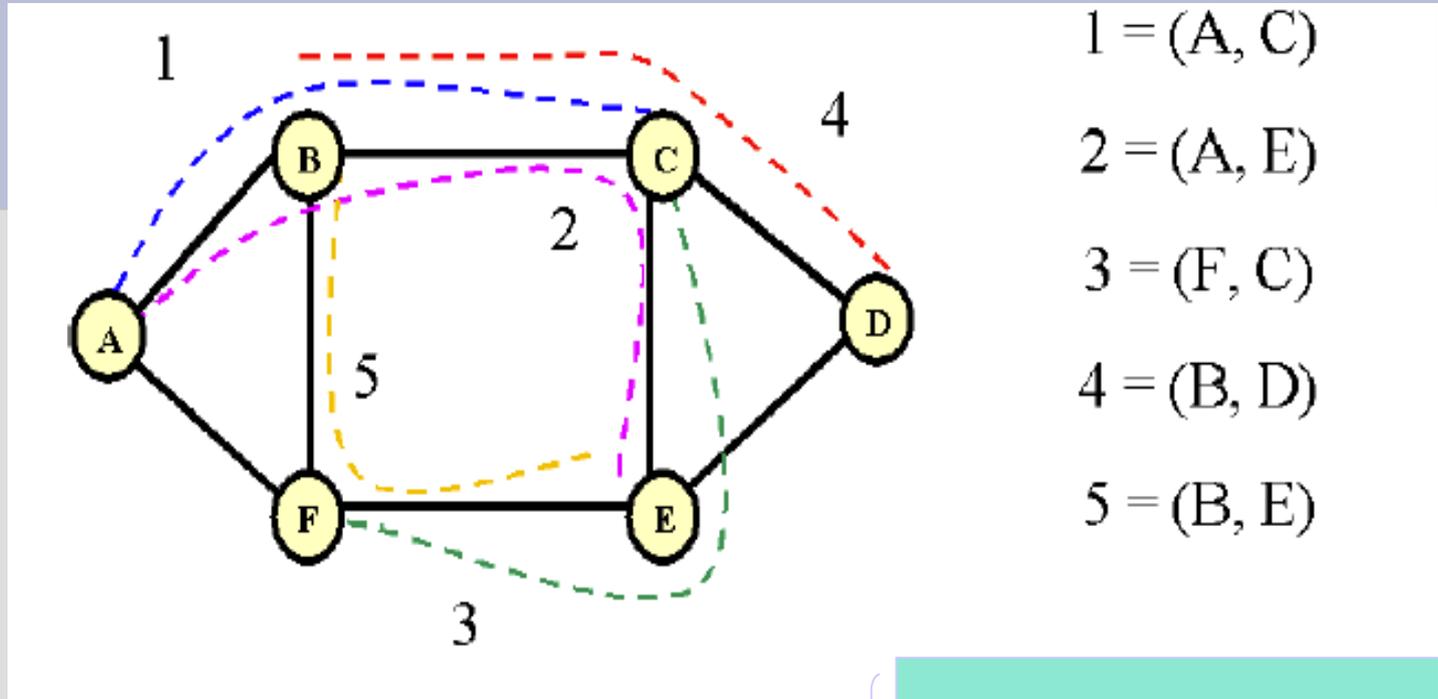


**GRÁFICO DE CAMINOS**



# EJEMPLO 1:

1.- Búsqueda de rutas por camino más corto:

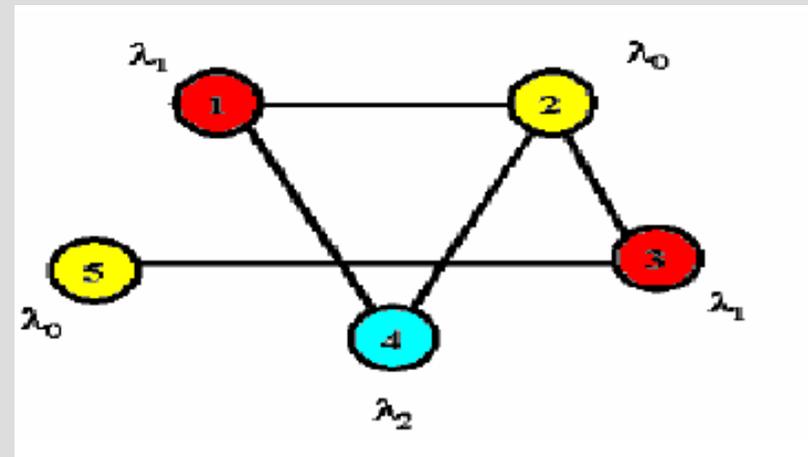


2.- Selección de rutas. Orden: más largo primero.  
Norma: primera ruta acertada

Orden de los caminos:  
<2, 1, 3, 4, 5>

3.- Asignación de longitud de onda.

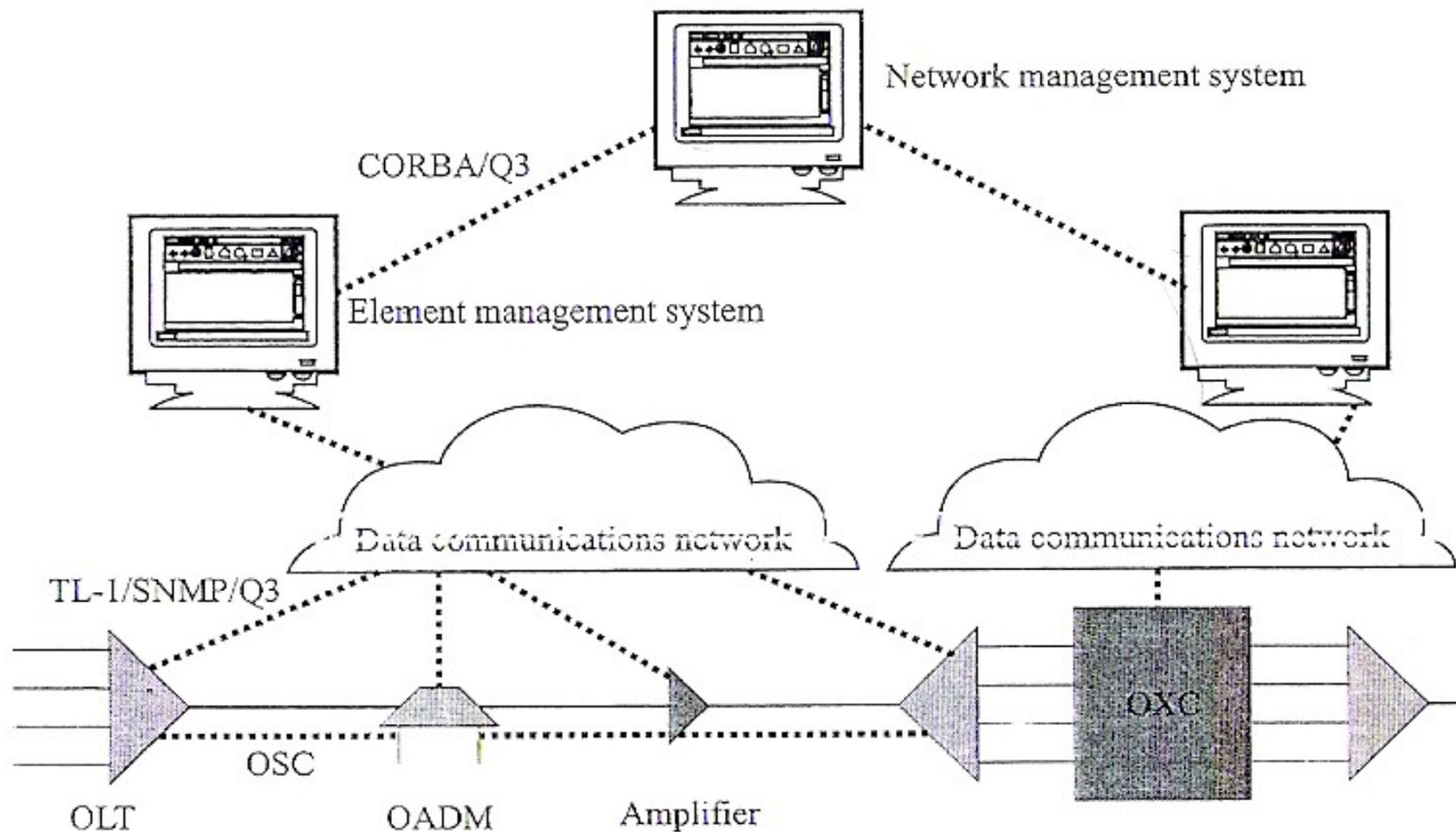
Orden de las longitudes de onda: < $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_0$ >



# Control y gestión de las redes WDM

- Sistema distribuido vs. Centralizado
- Elementos del sistema:
  - *EMS (Element Management System)*
  - *DCN (Data Communication Network)*
  - *Fast signaling channel*
  - *NMS (Network Management System)*
    - *Operations Support System (OOS)*
- Representación de la información
  - Paradigma Orientado a Objeto.
  - Modelado del los atributos y comportamiento de los elementos de red.

# Control y gestión de las redes WDM



- GRACIAS
- A CAMPEONAR HOY CON LOS SUPER DELANTEROS MANDARINAS