

Diseño y simulación de sistemas ópticos para despliegue transparente de servicios móviles en r  
metropolitanas y de acceso hasta el hogar



Diseño y simulación de sistemas ópticos para despliegue transparente de servicios móviles en redes ópticas metropolitanas y de acceso hasta el hogar

**Titulación:** Master en Ingeniería de Telecomunicación UOC-URL

**Alumno:** Mario Barranquero Pérez

**Consultor:** Josep María Fábrega

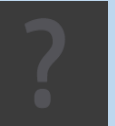
# Objetivo: aprovechar la capacidad de transmisión de la fibra óptica e introducir nuevos usuarios

- Muchos avances en hardware:
  - Diodos transmisores
  - Fotodetectores
  - Moduladores
- En la propia fibra
  - Materiales, dopajes
  - Modos de transmisión y ventanas
- ¡Pero la modulación digital continúa siendo la más básica conocida!
  - OOK monoportadora



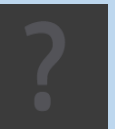
# ¿Cómo aprovechar mejor la capacidad de transmisión de la F.O.?

- Primera medida: Utilizar una modulación más compleja
  - Con una constelación mayor
  - Con múltiples portadoras
- OFDM óptico
  - Sobre cada portadora permite usar la constelación digital deseada
  - Estándarizada en NG-PON2 (retrocompatible con versiones anteriores de PON: G-PON y XG-PON1)



# ¿Cómo aprovechar mejor la capacidad de transmisión de la F.O.?

- Segunda medida: canales con ancho de banda flexible
  - Un canal de ancho de banda grande rara vez está ocupado al 100%
  - Esto limita el número de transmisiones simultáneas
- SLICE(Spectrum-Sliced Elastic Optical Path Network) o EON(Elastic Optical Networks)
  - Mediante el uso de conmutadores de ancho de banda flexible en función de la demanda, se crean canales con un nivel de ocupación muy alto.
  - Posibilita un número alto de transmisiones simultáneas, sobre todo cuando hay muchos usuarios que no necesitan una velocidad muy alta.



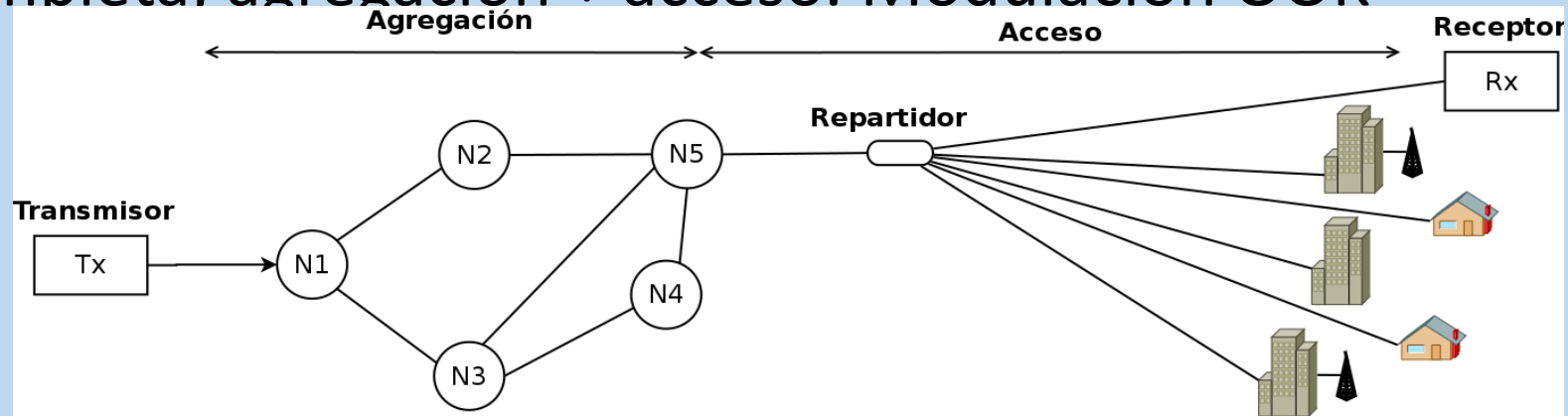
# Nuevos usuarios de una red óptica mas eficiente: antenas de telefonía móvil

- Alta velocidad y bajas pérdidas, nuevo tipo de usuario: antenas móviles
  - Conviviendo con los usuarios domésticos (FTTH)
- Conectadas mediante fibra, separamos la parte radio de la parte de procesado.
  - CPRI (Common Public Radio Interface)
  - lightRadio de Alcatel-Lucent
- lightRadio presenta ventajas: refrigeración, inmobiliario, procesado conjunto...

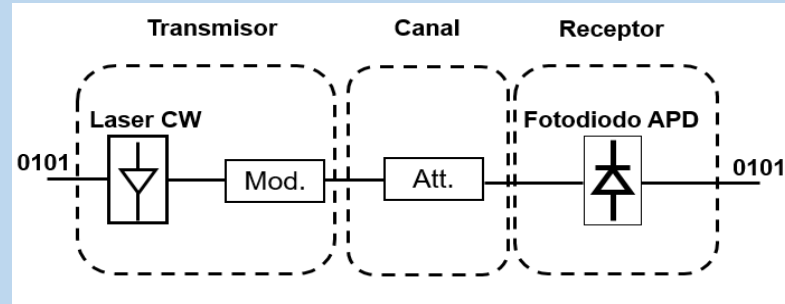


# Simulaciones

- B2B OOK
- B2BOFDM
  - Comparación con OOK
- OOK tramo de fibra simple
- Red completa, agregación + acceso. Modulación OOK



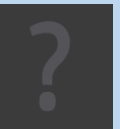
# Simulación b2b OOK



- Parámetros y elementos principales:

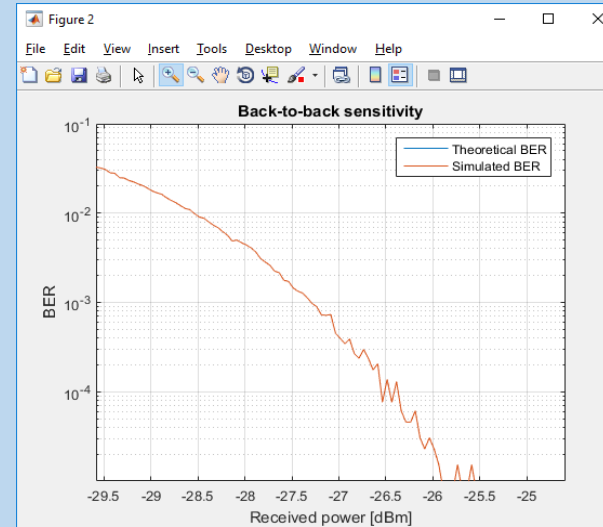
- Láser de onda continua ( $P_t=2\text{mW}$ , ancho espectral=5MHz)
- Modulador ideal con relación de extinción lineal ( $E_{\text{rdb}}=10\text{dB}$ )
- Fotodetector APD ( $R_l=50$ ,  $I_d=1\text{pA}$ ,  $T=300$ ,  $k_a=1$ )
- Bits transmitidos:  $128 \cdot 1024 = 131072$  bits
- $R_b=10,7\text{Gbps}$  (conforme con CPRI y considerando un 7% overhead FEC)
- Ancho de banda de la señal OOK:  $1.5 \cdot R_b = 16.05$  GHz
- Atenuador: 25-30 dB en pasos de 0,5dB

Objetivo, fijar valores APD: responsividad (R), factor multiplicación(M) y factor de ruido( $F_{\text{ndB}}$ ), observando el comportamiento de la curva BER(Pr)

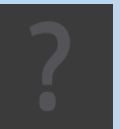


# Simulación b2b OOK: resultados

R	M	FndB	BER( $P_r = -27\text{dBm}$ )
0.7	7	4.7	6.86e-3
0.7	10	4.7	3e-4
0.7	9	4.7	4.1e-4
0.9	7	4.7	1e-3
1	7	4.7	3e-4
0.7	7	2.5	8.3e-4
0.7	7	3	9.45e-4
0.8	8	4.7	8.5e-4



- La combinación de R, M y FndB más realista y con mejores resultados ha sido  $R=0,7; M=9$  y  $FndB=4,7$ 
  - R es inversamente proporcional al ancho de banda, para 50GHz,  $0,7 < R < 0,8$
  - M es directamente proporcional a la tensión de alimentación,  $7 < M < 10$
  - FndB limitado por fotodetector y amplificador eléctrico posterior. Coste menor  $4 < FndB < 6$
- Estos valores del APD los tomamos de referencia para las próximas simulaciones.





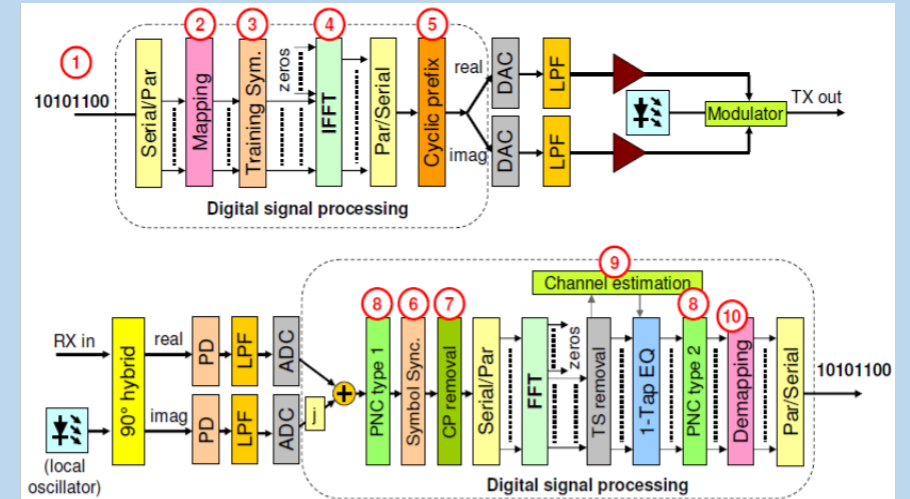
# Simulación b2b OFDM

- Parámetros y elementos principales:

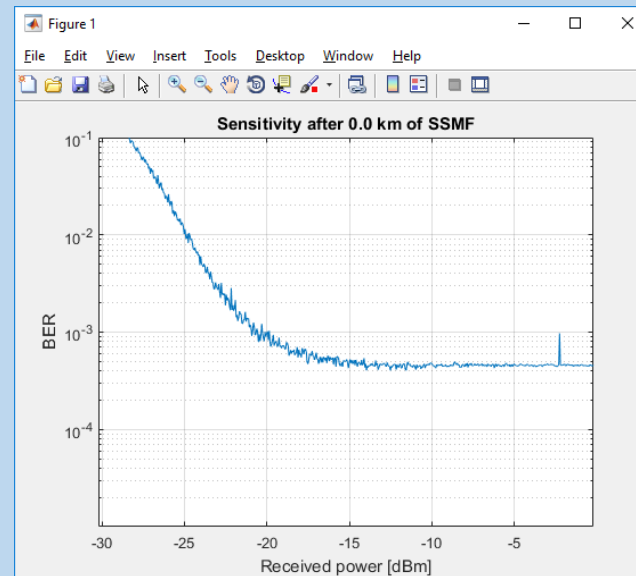
- Láser de onda continua ( $P_t=2\text{mW}$ , ancho espectral=5MHz) – Sin cambios
- Modulador MZM ( $V_{\text{bias}}=0,9\text{V}$ ;  $V_{\text{pi}}=1$ ,  $\alpha=0$ ) – Cambio importante
- Fotodetector APD (...  $R=0,7$ ,  $M=9$ ,  $F_{\text{ndB}}=4,7$ )- Fijado en simulación OOK
- $R_b=10,7\text{Gbps}$  (conforme con CPRI y considerando un 7% overhead FEC)- Sin cambios

- Parámetros OFDM:

- 64 portadoras
  - Overhead prefijo cíclico: 0,02
  - 2 bits por símbolo, constelación QAM
  - Nº símbolos de entrenamiento: 4 (overhead $_{\text{TS}}=0,002$ )
  - Nº símbolos Payload:  $64*1024=65536$
- 
- Ancho de banda de la señal OFDM: 5,47GHz, (recordemos, en OOK 16.05 GHz)
  - Bits transmitidos: 134216
  - Atenuador: -10 – 20 dB en pasos de 0.5 dB.

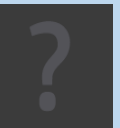


# Simulación b2b OFDM. Resultados



- Resultados numéricos y comparación con OOK:

	BER ( $P_r = -27\text{dBm}$ )	$P_r(\text{BER} = 1e-3)$	BW
OOK	$4.1e-4$	-27,3 dBm	16.05 GHz
OFDM	$47,5e-3$	-20,5 dBm	5.47 GHz



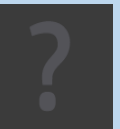
# Comparación teórica OOK-OFDM Óptico

- Inconvenientes OFDM:

- Se necesita más potencia en recepción porque:
  - La fotodetección de la señal ocupa un mayor espectro, desplazamiento RF a 1.5 veces su ancho de banda.
  - En transmisión se filtra para transmitir en BLU, distorsionando la señal en frecuencia.
  - El punto de trabajo del modulador no es el mismo que en OOK. En OFDM está cercano al nulo, distorsionando ligeramente la señal generada.
  - Pocos símbolos de entrenamiento para ecualizar. A larga distancia, la ecualización sí supone una ventaja.

- Ventajas OFDM:

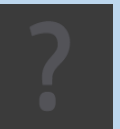
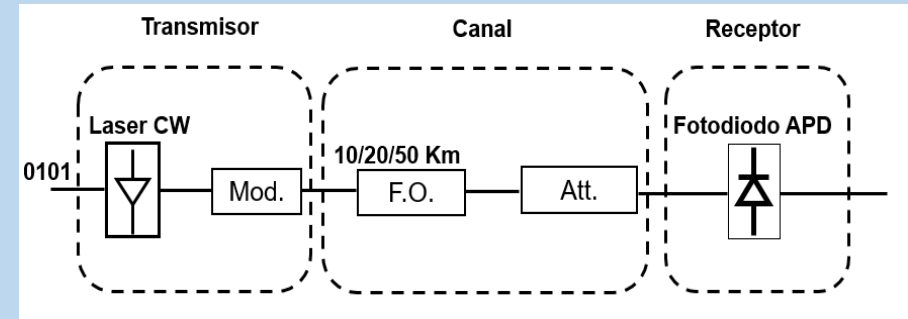
- Le afecta menos la dispersión cromática. Gracias a la ecualización podemos prescindir de compensadores de dispersión, que suelen ser caros. Los veremos al simular la red OOK.
- Posibilidad de usar diferentes constelaciones para cada portadora.



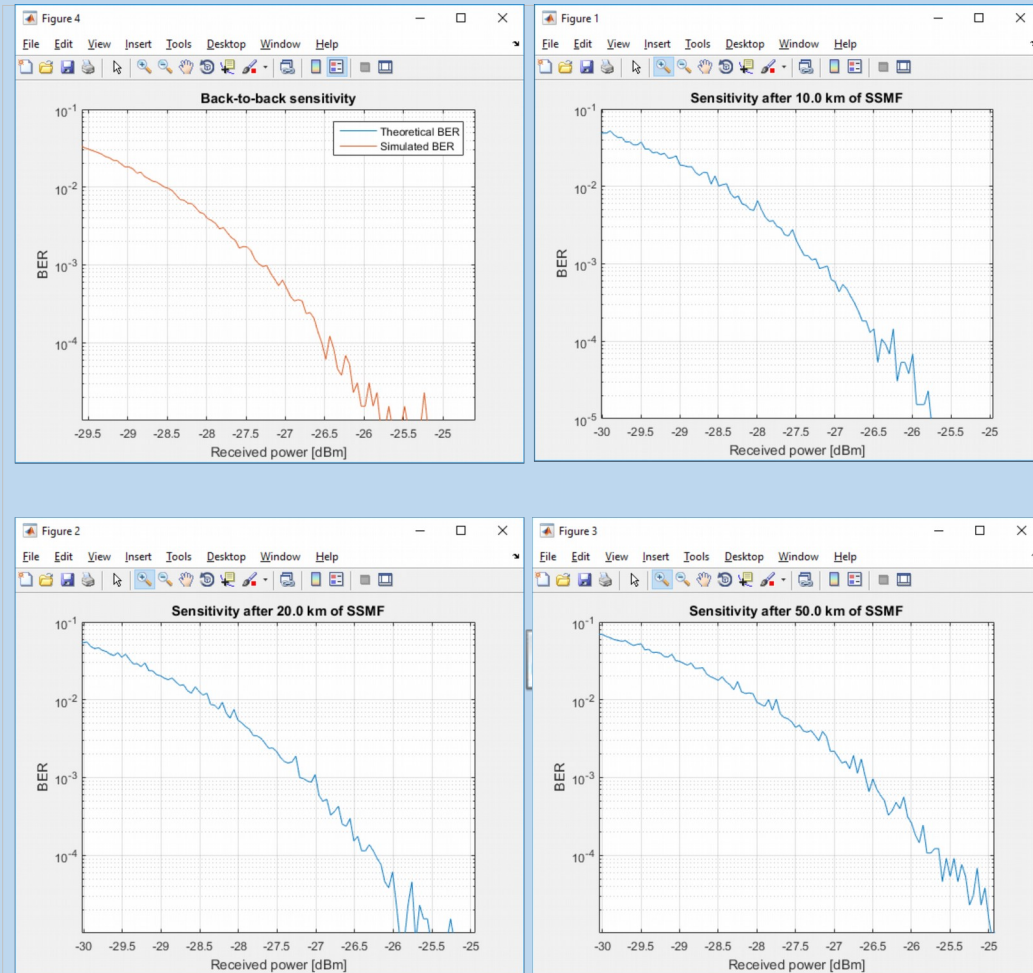
# Simulación OOK tramo de fibra simple

- Mismos parámetros y HW que en b2b OOK caso óptimo. APD:  $M=9$ ;  $R=0,7$  y  $FndB=4,7$
- Introducimos fibra óptica mediante el script “ssprop2.m” que utiliza las ecuaciones de no lineales de Schrodinger
- Parámetros de la fibra:
  - Longitud de onda central ( $\lambda_0$ ):  $1550 \cdot 10^{-9}$
  - Coeficiente de atenuación ( $\alpha_{dB}$ ):  $0.29 \cdot 10^{-3}$  dB/m
  - Coeficiente de dispersión ( $D_p$ ):  $16.5 \cdot 10^{-6}$  s/m<sup>2</sup>
  - Pendiente de dispersión ( $S$ ):  $0.057 \cdot 10^3$ ; s/m<sup>2</sup>
  - Índice de refracción no lineal ( $n_2$ ):  $2.4 \cdot 10^{-20}$  m<sup>2</sup>/W]
  - Área efectiva de la fibra ( $A_{eff}$ ):  $80 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup>
  - Longitudes y atenuadores:
    - $L=10$ Km –  $att_{dB}=22-28$  dB en pasos de 0.5dB
    - $L=20$ Km –  $att_{dB}=19-25$  dB en pasos de 0.5dB
    - $L=50$ Km –  $Att_{dB}=10-16$  dB en pasos de 0.5dB

Objetivo, obtener la curva BER( $P_r$ ) y observar resultados



# Simulación OOK tramo fibra simple. Resultados



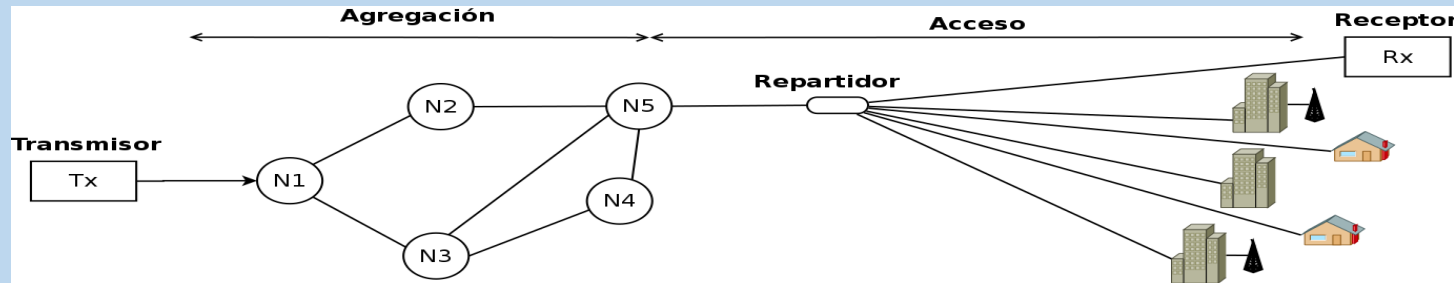
Km fibra	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
0	5,4e-4	-27,3 dBm
10	5,9e-4	-27,22 dBm
20	9,75e-4	-27,1 dBm
50	2,18e-3	-26,6 dBm

- Los resultados empeoran ligeramente con la distancia por la dispersión acumulada.
- Distancia relativamente cortas para la fibra óptica, resultados correctos.

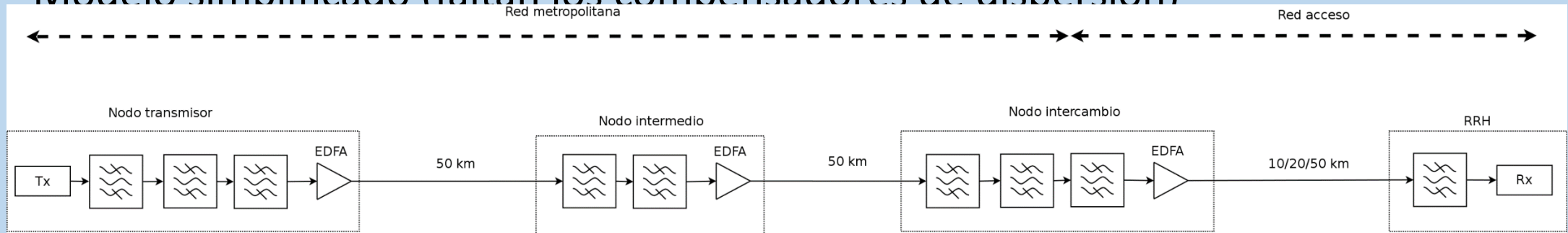


Simulación Red completa, agregación + acceso. Modulación OOK

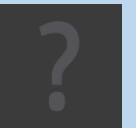
- Red planteada:



- Modelo simplificado (faltan los compensadores de dispersión)

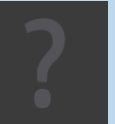


- Simulamos el modelo presentado con hasta 5 nodos intermedios y con tres distancias diferentes para la fibra que llega hasta el usuario



# Simulación Red completa, agregación + acceso. Modulación OOK

- Mismos parámetros y HW que en b2b OOK caso óptimo. APD:  $M=9$ ;  $R=0,7$  y  $FndB=4,7$
- Usamos de nuevo fibra óptica mediante el script “ssprop2.m” con los mismos parámetros que en el caso anterior
- Los nuevos elementos que conforman los nodos son:
  - filtros paso banda WSS (Wavelength Selective Switch). Con parámetros:
    - BW: 50GHz
    - Sigma: 5GHz
  - amplificadores EDFA (Erbium Doped Fibre Amplifier). Con parámetros:
    - Lambda: 1550 nm
    - FndB: 5.5dB
    - Potencia de salida: 0dBm, 5dBm (sólo en el último amplificador)
- Objetivo, obtener la curva BER(Pr) y observar resultados



# Simulación Red completa, agregación + acceso. Modulación OOK. Resultados

Un nodo intermedio		
Km fibra acceso	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
10	5,538e-4	-27.175 dBm
20	5.7e-4	-27.22 dBm
50	1.47e-3	-26.938 dBm
Dos nodos intermedios		
Km fibra acceso	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
10	5.85e-4	-27,21 dBm
20	4.648e-4	-27.292 dBm
50	1.39e-3	-27.759 dBm
Tres nodos intermedios		
Km fibra acceso	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
10	6.154e-4	-27.154 dBm
20	5.931e-4	-27.248 dBm
50	1.228e-3	-26.855 dBm
Cuatro nodos intermedios		
Km fibra acceso	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
10	5.55e-4	-27.263 dBm
20	5.93e-4	-27.274 dBm
50	1.287e-3	-26.859 dBm
Cinco nodos intermedios		
Km fibra acceso	BER (Pr=-27dBm)	Pr(BER =1e-3)
10	9.624e-4	-27.02 dBm
20	6.65e-4	-27.11 dBm
50	1.74e-3	-26.81 dBm





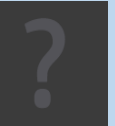
# Conclusiones

- OOK es la modulación digital más extendida en comunicaciones ópticas, hemos comprobado su funcionamiento en varios escenarios.
- Utilizar una modulación con múltiples portadoras y constelaciones mayores, nos abre un mundo de posibilidades. OFDM (NGPON-2) nos presenta estas ventajas:
  - Menor ancho de banda para un mismo  $R_b$ , en comparación con OOK(con más Pr)
  - Menor afectación dispersión cromática. Podemos prescindir de compensadores de dispersión
  - Posibilidad de usar diferentes constelaciones para cada portadora.
- La alta velocidad y bajas pérdidas de la fibra, (junto con CPRI y lightRadio) nos permite conectar la parte radio y parte de procesado en antenas móviles.
- El uso de EON/SLICE permite aprovechar al máximo cada canal en la fibra óptica y aumentar el número de estos
- La combinación de tecnologías estudiadas pueden suponer un gran salto en las capacidades de la fibra óptica



# Líneas futuras

- Más simulaciones para comparar OFDM y OOK
  - En condiciones b2b hacer una simulación con igual ancho de banda, observar BER(Pr) y Rb.
  - Sobre fibra óptica, y con red completa. Ventajas ecualización OFDM, evita compensación de dispersión y costes asociados.
  - Usar constelaciones más grandes en OFDM y diferentes entre portadoras en función de la calidad de cada canal.
- Utilizar filtros con ancho de banda más estrecho, ajustándonos al ancho de banda (filosofía SLICE – EON)
- Simular múltiples transmisiones, en diferentes instantes, de diferentes usuarios y con diferentes características, aplicando SLICE para aprovechar la capacidad de la fibra y las posibilidades de la tecnología.
- ...



MUCHAS GRACIAS

