



REDES

Grados Ing. Informática / Ing. de Computadores / Ing. del Software
Universidad Complutense de Madrid

TEMA 3. Medios de transmisión y tecnologías de nivel físico

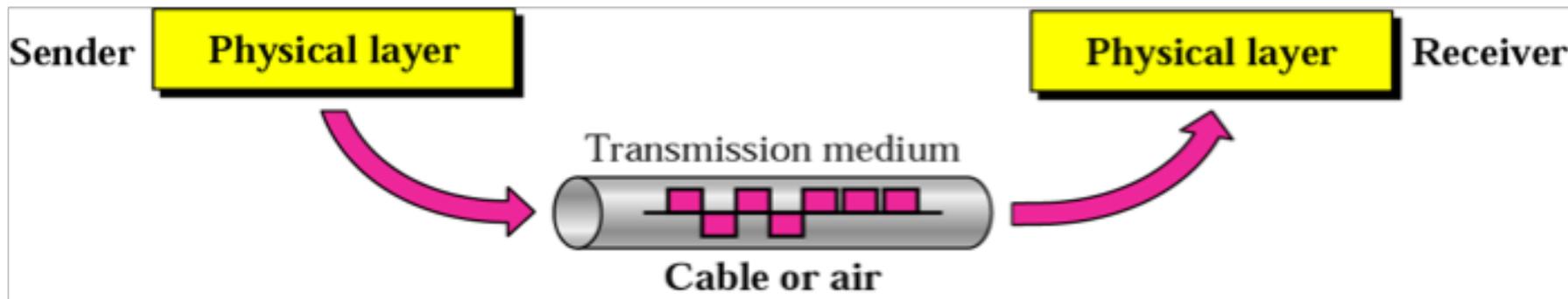
PROFESORES:

Rafael Moreno Vozmediano
Rubén Santiago Montero
Juan Carlos Fabero Jiménez

Introducción

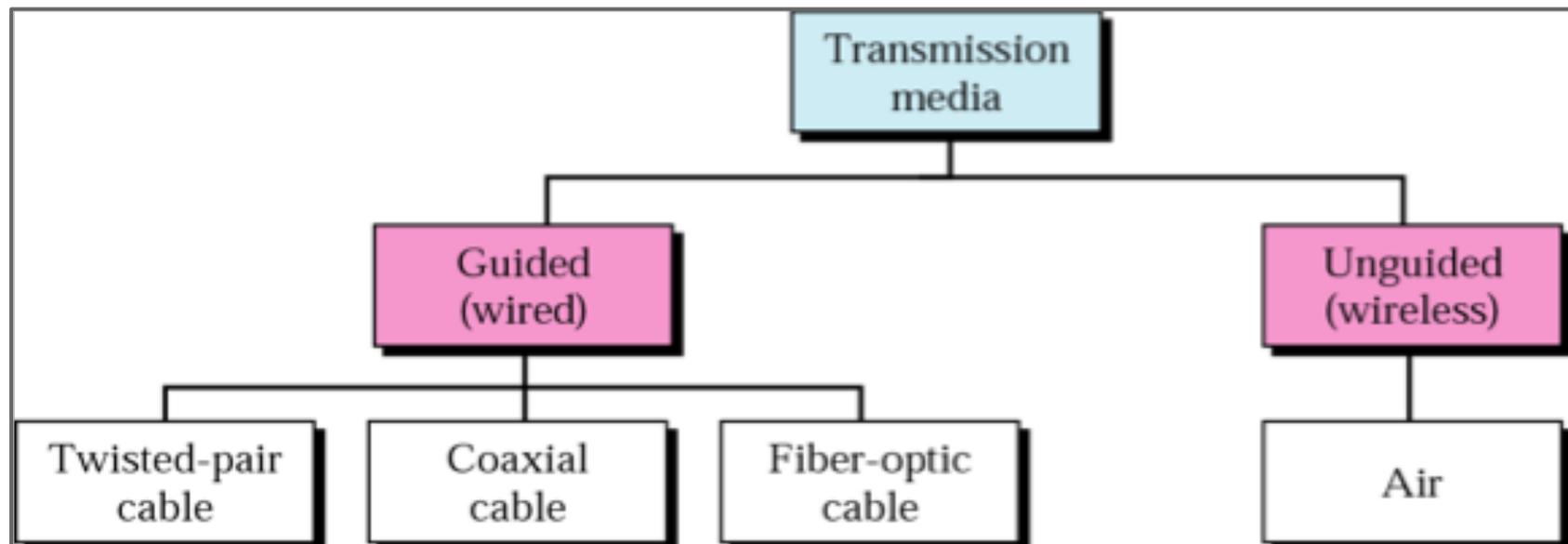
- **Medios de transmisión y capa física**

- En una arquitectura de red, el tipo de medio de transmisión utilizado es una característica de la capa física



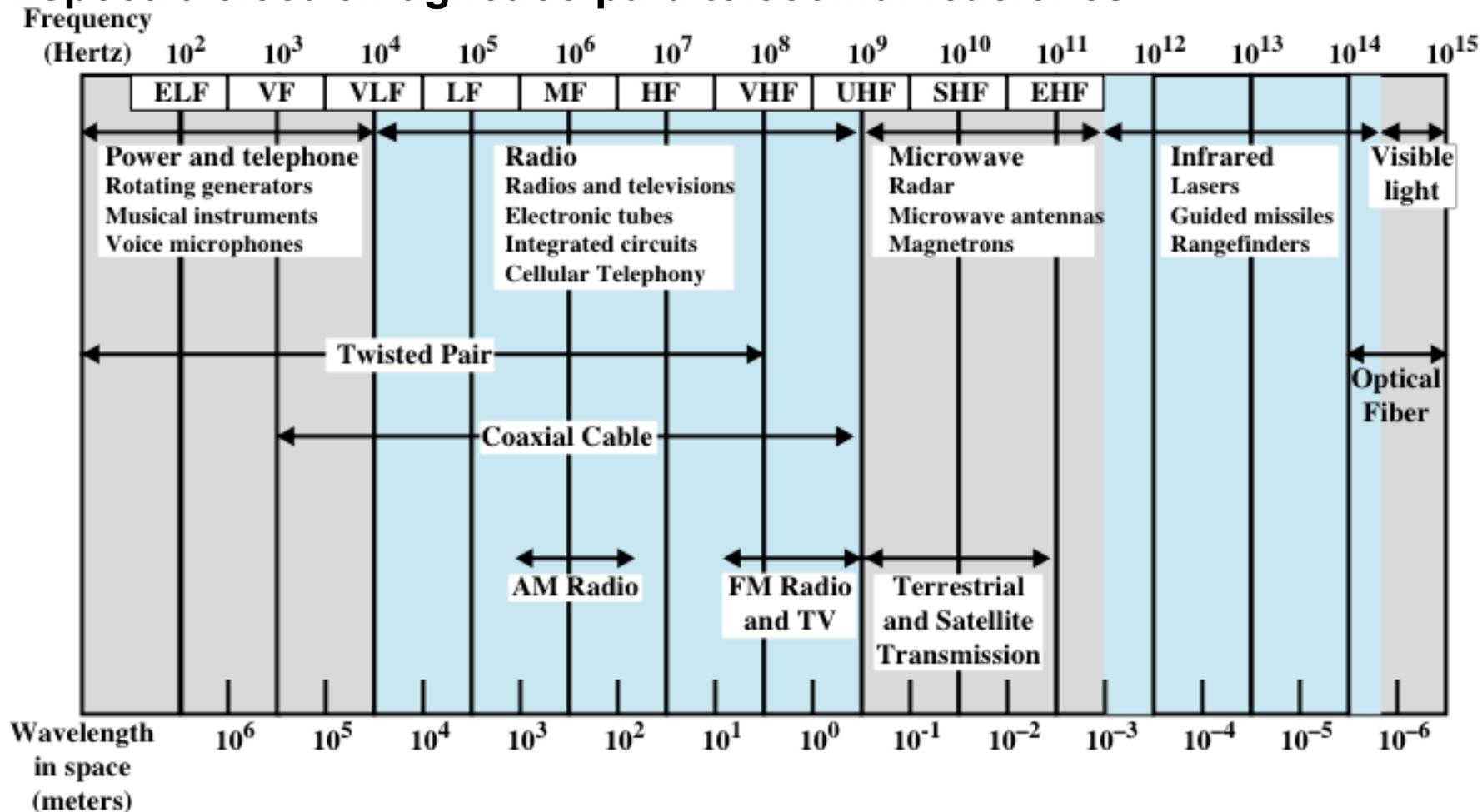
Introducción

- **Clasificación de los medios de transmisión**
 - **Medios de transmisión guiados o por cable (*wired*)**
 - Par trenzado (señales eléctricas por cable de cobre)
 - Cable coaxial (señales eléctricas por cable de cobre)
 - Fibra óptica (señales luminosas)
 - **Medios de transmisión no guiados o inalámbricos (*wireless*)**
 - Infrarrojos (IR)
 - Radio-frecuencia (RF)
 - Microondas



Introducción

- Espectro electromagnético para telecomunicaciones



ELF = Extremely low frequency

VF = Voice frequency

VLF = Very low frequency

LF = Low frequency

MF = Medium frequency

HF = High frequency

VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency

SHF = Superhigh frequency

EHF = Extremely high frequency

Par trenzado

- **Características generales del par trenzado**

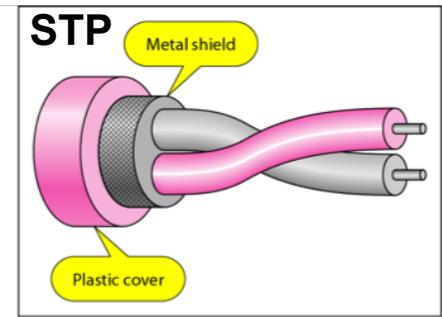
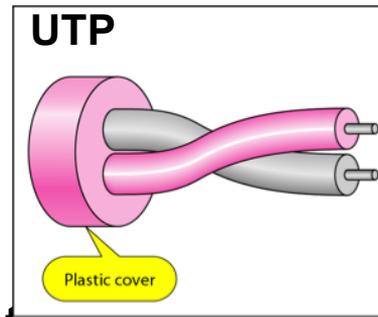
- Forma del cable

- Dos hilos de cobre aislados y entrelazados (trenzados) en forma helicoidal



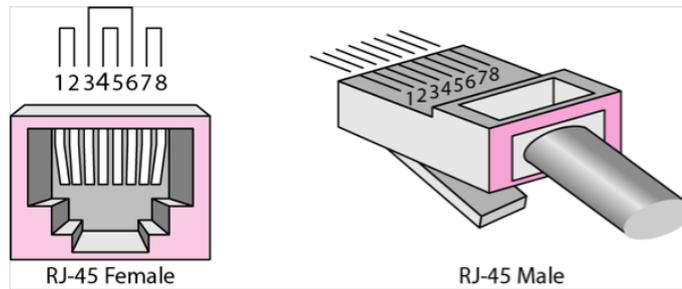
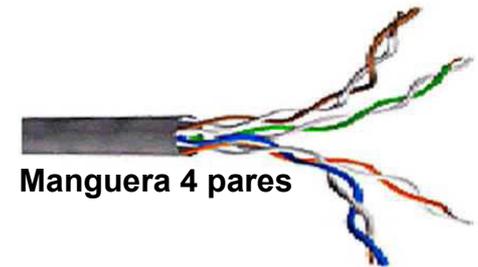
- Tipos de par trenzado

- UTP (*unshielded twisted pair*): Par trenzado no apantallado
- STP (*shielded twisted pair*): Par trenzado apantallado



- Agrupamiento y conexión de pares

- Los cables típicos de par trenzado están formados por mangueras de cuatro pares trenzados (8 hilos)
- Los conectores más comunes son de tipo RJ-45



Par trenzado



- **Categorías de par trenzado UTP**

- Existen distintas categorías de cables UTP
 - La categoría depende del calibre y la calidad del cable y de la longitud del trenzado
 - Las dos categorías más comunes son UTP Cat 3 (UTP-3) y UTP Cat 5 (UTP-5)
- **UTP-3**
 - Denominado cable de calidad de telefónica (*voice-grade*)
 - Frecuencias de hasta 16 MHz
 - Aplicaciones
 - Telefonía (bucle de abonado)
 - Redes de área local (Ethernet): hasta 10 Mbps (distancia \leq 100 m)
- **UTP-5**
 - Denominado cable de calidad de datos (*data-grade*)
 - Frecuencias de hasta 100 MHz
 - Aplicaciones
 - Redes de área local (Fast Ethernet): hasta 100 Mbps (distancia \leq 100 m)
- Atenuaciones típicas

Frecuencia señal	1 MHz	4 MHz	16 MHz	25 MHz	100 MHz
Atenuación en UTP-3	26 db/Km	56 db/Km	131 db/Km	-	-
Atenuación en UTP-5	20 db/Km	41 db/Km	82 db/Km	104 db/Km	220 db/Km

Par trenzado

- **Categorías de par trenzado UTP (cont.)**

- Las principales categorías de UTP son las siguientes:

Categoría	Ancho de banda	Velocidad transmisión	Aplicaciones
Categoría 3	16 MHz	16 Mbps	Telefonía. Redes LAN Ethernet (10Base-T)
Categoría 5	100 MHz	100 Mbps	Redes LAN Fast Ethernet (100Base-T)
Categoría 5E	100 MHz	1 Gbps	Redes LAN Gigabit Ethernet (1000Base-T)
Categoría 6	200 MHz	1 Gbps	Redes LAN Gigabit Ethernet (1000Base-T) Aplicaciones de alta velocidad en banda ancha
Categoría 6E	500 MHz	10 Gbps	Redes LAN 10Gigabit Ethernet (10GBase-T)
Categoría 7	600 MHz	10 Gbps	Redes LAN 10Gigabit Ethernet (10GBase-T) Transmisión de vídeo alta calidad

Par trenzado

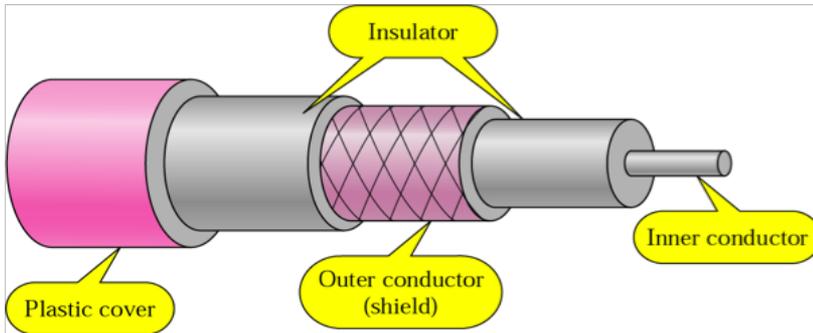
- **Aplicaciones típicas**

- Telefonía analógica
 - Utilizado tradicionalmente para la conexión de terminales de teléfono a la central local (bucle de abonado)
- Redes de área local (Ethernet)
 - Transmisión de datos digitales a distancias cortas (hasta 100 m.)
 - Velocidades entre 10 Mbps y 10 Gbps (en función de la calidad del cable)

Cable coaxial

- **Características generales del cable coaxial**

- Forma del cable coaxial

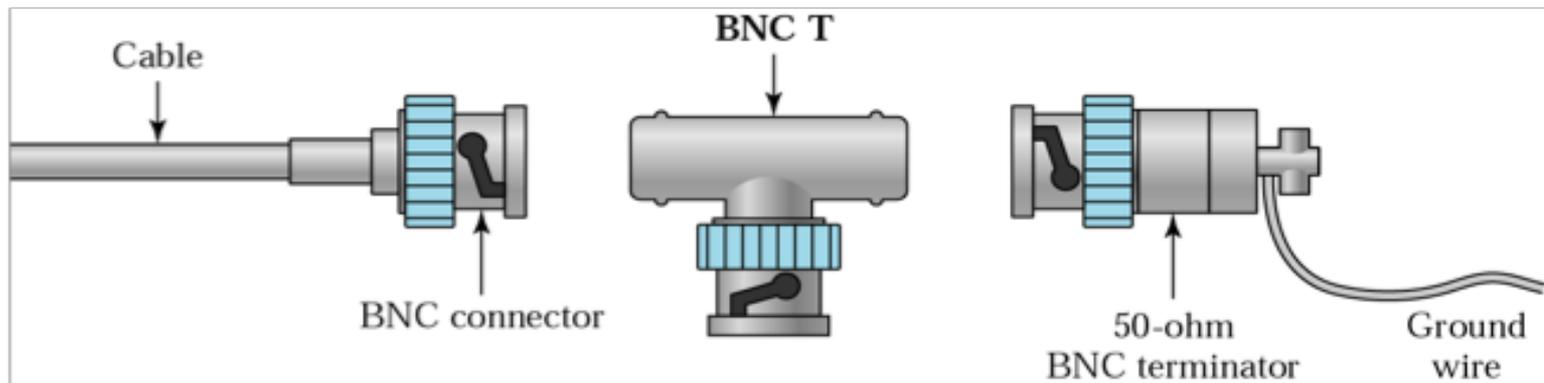


- Categorías de cable coaxial

Category	Impedance	Use
RG-59	75 Ω	Cable TV
RG-58	50 Ω	Thin Ethernet
RG-11	50 Ω	Thick Ethernet

- Conectores típicos del cable coaxial

- Conectores BNC usado en redes Ethernet



Cable coaxial

- **Aplicaciones del cable coaxial**

- Distribución de señales de televisión
 - Antena para televisión.
 - Televisión por cable.
- Telefonía a larga distancia
 - Puede transportar simultáneamente más de 10.000 canales de voz.
 - En la actualidad tiene una fuerte competencia en la fibra óptica.
- Redes de área local
 - Redes Ethernet en bus: 10Base2 (Thin Ethernet) y 10Base5 (Thick Ethernet)

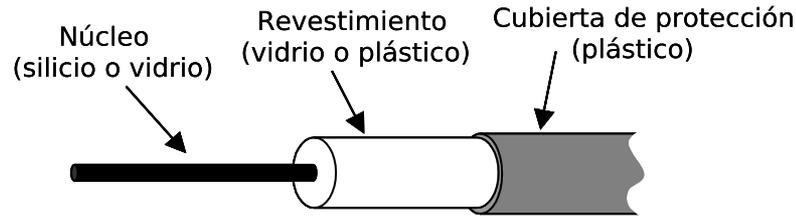
- **Ventajas e inconvenientes del cable coaxial**

- En comparación con el par trenzado
 - ↑ Mayor inmunidad a ruidos e interferencias externas
 - ↑ Mayores distancias y mayor ancho de banda que el par trenzado
 - ↓ Mayor coste

Fibra óptica

- **Características generales de la fibra óptica**

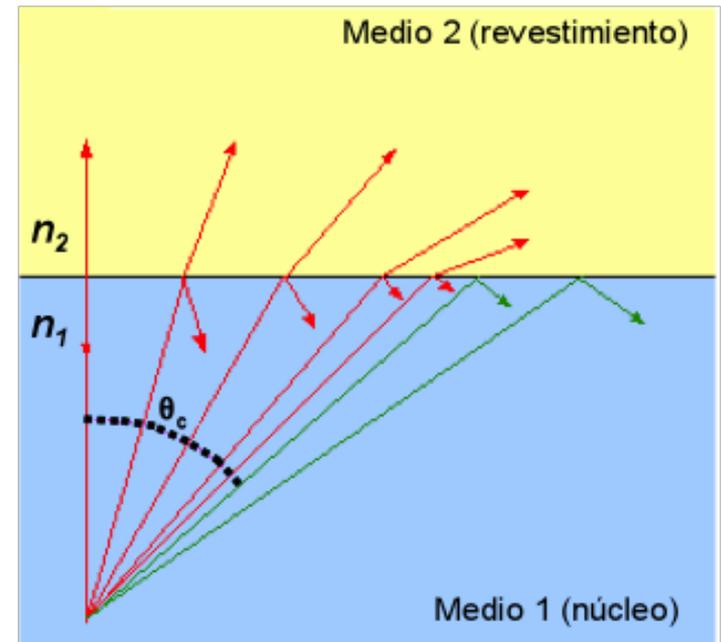
- Forma del cable



- **Funcionamiento de la fibra óptica: basado en la ley de Snell**

- Cuando un haz de luz incide en la interfaz entre dos medios con distinto índice de refracción (n_1 y n_2), parte de la luz se refleja y parte de la luz se refracta al otro medio con un ángulo distinto
- Si el ángulo de incidencia supera un cierto **ángulo crítico** (θ_c), entonces toda la luz se refleja y no se produce refracción
 - El ángulo crítico (θ_c) viene dado por la siguiente expresión:

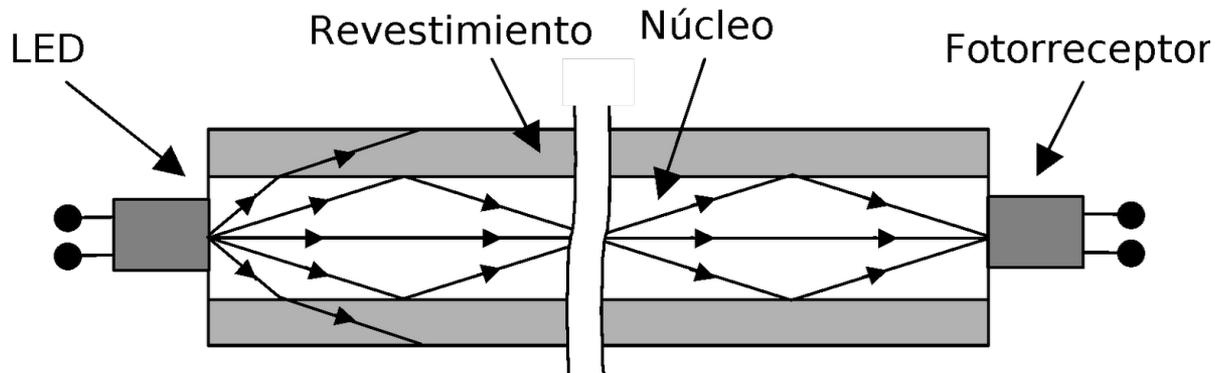
$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$



Fibra óptica

- **Funcionamiento de la fibra óptica (cont.)**

- El LED (diodo emisor de luz) transforma la señal eléctrica en pulsos de luz
- La fibra transmite la luz a través del núcleo
 - Núcleo y revestimiento de distinto material (distinto índice de refracción)
 - La luz que incide sobre la interfaz núcleo-revestimiento con un ángulo superior al ángulo crítico se refleja y se propaga en el núcleo
 - El resto de la luz se refracta (pérdidas)
- El fotorreceptor transforma la señal luminosa en una señal eléctrica



Fibra óptica

- **Tipos de fibra**

- **Multimodo (multi-mode)**

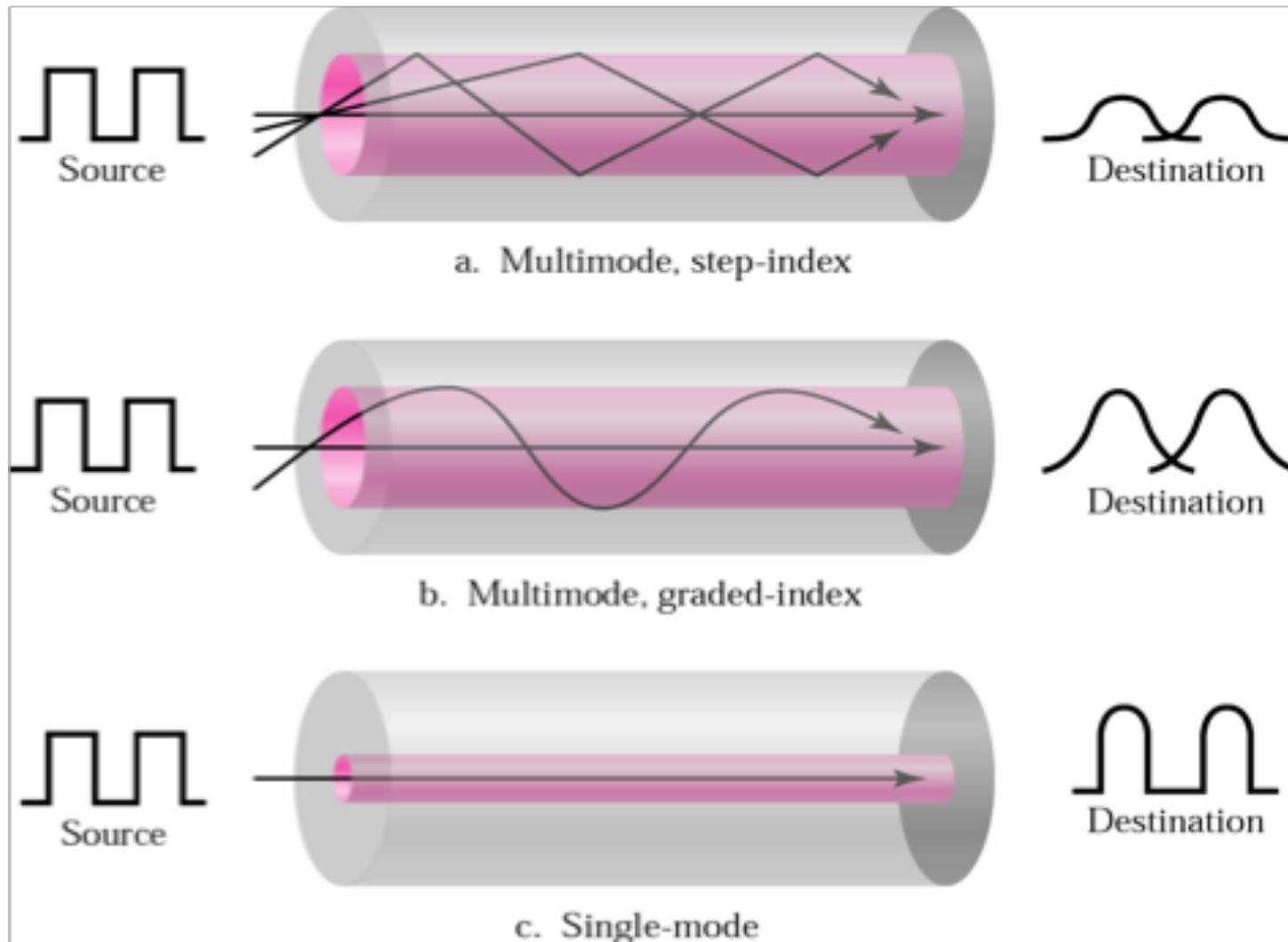
- La luz se difunde en múltiples direcciones
 - Mayores pérdidas y menores prestaciones en velocidad y distancia
 - Más económica y fácil de manipular
 - Dos tipos
 - **Índice escalonado (step-index):** El núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección
 - **Índice gradual (graded-index):** el índice de refracción en el núcleo no es constante, sino en gradiente, lo que obliga a los rayos de luz a curvarse

- **Monomodo (single-mode)**

- La luz se difunde prácticamente en línea recta a través del núcleo
 - Diámetro del núcleo muy reducido (del orden de la longitud de onda de la luz)
 - Menos pérdidas y mayores prestaciones en velocidad y distancia
 - Más cara y difícil de manipular

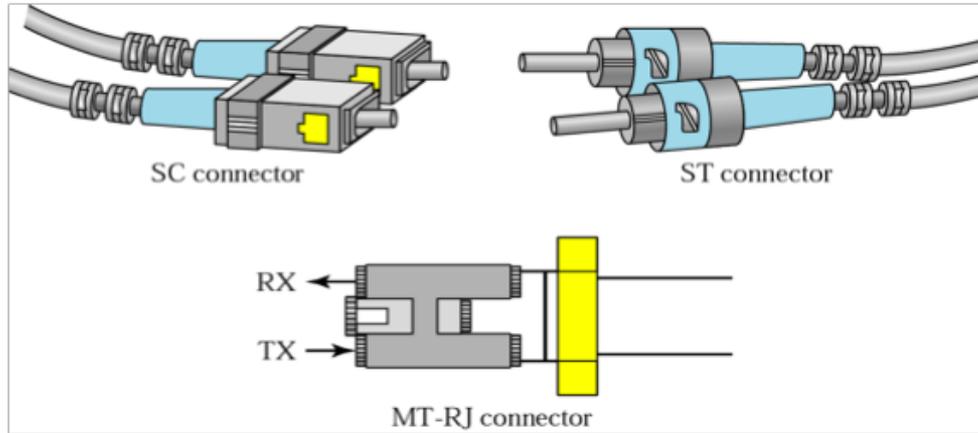
Fibra óptica

- Tipos de fibra (cont.)



Fibra óptica

- **Conectores de fibra óptica**



Cable de fibra pasando a través del ojo de una aguja

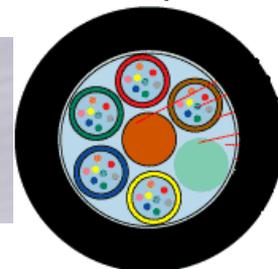
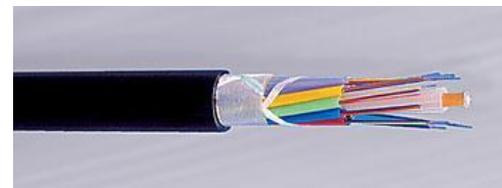


- **Agrupamiento de fibras ópticas**

- Las fibras ópticas de datos son extremadamente delgadas
 - Diámetro típico de una fibra: $\sim 125 \mu\text{m}$
 - Diámetro de un cabello humano: $\sim 100 \mu\text{m}$
- Normalmente se agrupan en mangueras de varias decenas o incluso cientos de fibras
 - Ejemplo: Manguera de 60 fibras
 - 12 tubos de fibra x 5 fibras por tubo
 - Diámetro del tubo: 2,1 mm
 - Diámetro de la manguera: 10 mm
 - Peso por Km: 80Kg

Sección de la manguera de fibra óptica

Manguera 60 fibras



Fibra óptica

- **Ventajas de la fibra óptica**

- Ancho de banda muy superior a los medios de cobre y menor atenuación
 - En pruebas de laboratorio (distancias cortas) se han alcanzado unos 100 Tbps
 - En larga distancia, se han conseguido alcanzar unos 13,5 Tbps para distancias de hasta 7.000 Km.
- Totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas externas
 - Menos errores de transmisión
- Los cables de fibra son muy delgados y ligeros
 - La instalación de una red de fibra óptica requiere conductos mucho más reducidos.
 - Se pueden agrupar decenas de fibras en mangueras de reducido diámetro

- **Desventajas de la fibra óptica**

- Más cara que el par trenzado o el cable coaxial
- La manipulación de la fibra óptica es muy compleja
 - Necesidad de mayor especialización y equipos adecuados

Fibra óptica

- **Aplicaciones de la fibra óptica**

- Telefonía

- Enlaces telefónicos de larga distancia
 - Hasta 1.500 km
 - Entre 20.000 y 60.000 canales de voz simultáneos
- Enlaces telefónicos metropolitanos
 - Longitud media de 12 Km
 - Hasta 100.000 canales de voz simultáneos
- Bucles de abonado
 - Están empezando a reemplazar a los cables trenzados y coaxiales
 - Permite la transmisión simultánea de voz, datos, imágenes y vídeo

- Redes de área local y metropolitana

- Usado tradicionalmente en redes MAN (FDDI, DQDB, etc.)
- Actualmente se utiliza también en redes LAN Ethernet de alta velocidad
 - Fast Ethernet - 100 Mbps (100Base-FX)
 - Gigabit Ethernet (1GbE) - 1Gbps (1000BASE-SX y 1000BASE-LX)
 - 10Gigabit Ethernet (10GbE) - 10 Gbps
 - 40Gigabit Ethernet (40GbE) - 40 Gbps
 - 100Gigabit Ethernet (100GbE) - 100 Gbps
 - Implementaciones futuras: Terabit Ethernet (1TbE)

Medios de transmisión inalámbricos (wireless)

- **Ondas de radiofrecuencia (RF)**

- Desde 30MHz hasta 1GHz:
- Aplicaciones
 - Transmisión de radio AM y FM
 - Radio marítima
 - Televisión
 - Teléfonos inalámbricos

- **Microondas**

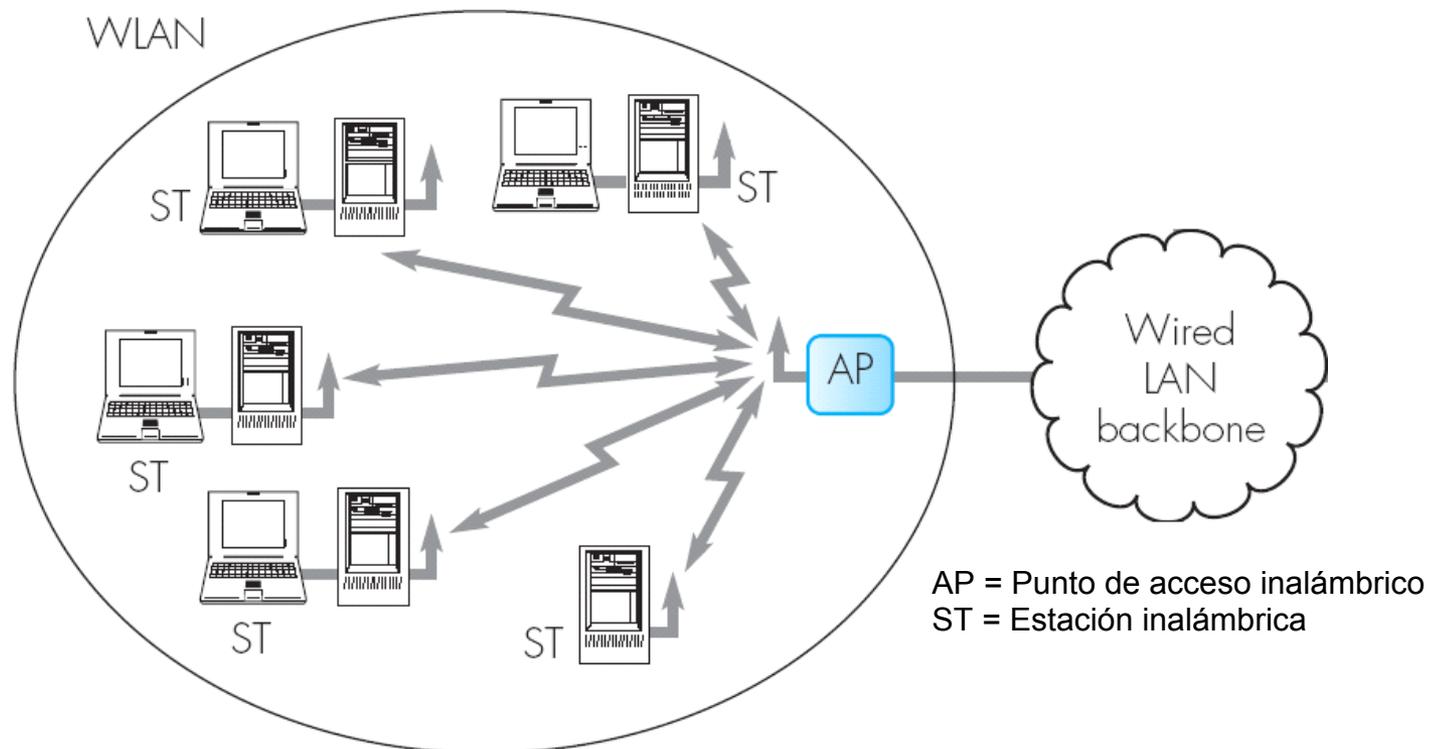
- Desde 2GHz hasta 40GHz
- Aplicaciones
 - Telefonía móvil
 - Comunicaciones por satélite
 - Redes LAN Inalámbricas

- **Infrarrojos**

- Rango de frecuencias comprendido entre 3×10^{11} y 2×10^{14} :
- Aplicaciones
 - Conexiones de datos locales (transmisión a cortas distancias entre dispositivos dispuestos en "línea de visión")

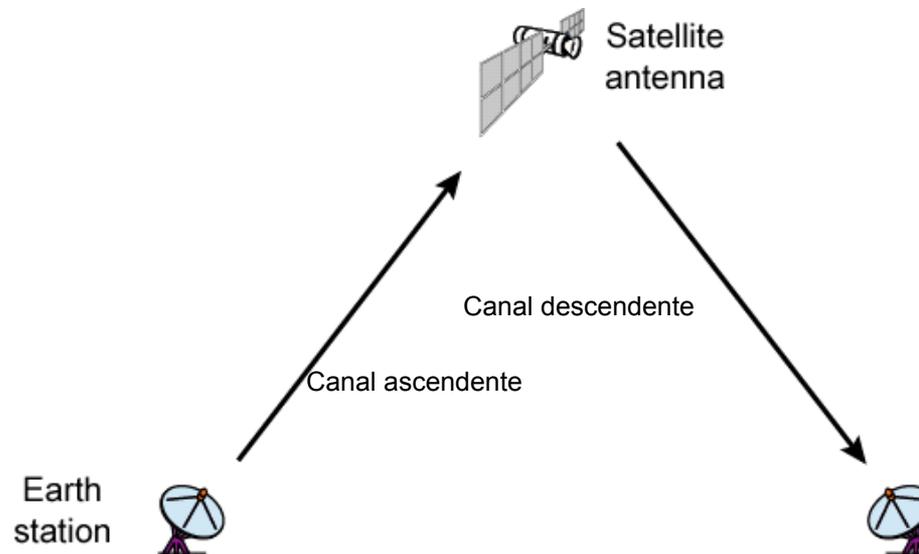
Medios de transmisión inalámbricos (wireless)

- **Uso de microondas en redes LAN inalámbricas (WLAN)**
 - Utilizan las bandas ISM (industria, ciencia y medicina) sin licencia
 - Banda de 2,4 GHz: de 2,4 a 2,4835 GHz
 - Banda de 5,8 GHz: de 5,725 a 5,825 GHz
 - Velocidades de transmisión típicas
 - Entre 11 Mbps y 300 Mbps



Medios de transmisión inalámbricos (wireless)

- **Uso de microondas en conexiones vía satélite**
 - Un satélite es una estación emisora/receptora de microondas
 - Se utiliza como enlace entre dos o más estaciones de transmisión terrestres
 - Funcionamiento básico
 - El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente)
 - El satélite amplifica o repite la señal y la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente)
 - Estos canales tienen un ancho de banda típico de unos 500 MHz



Medios de transmisión inalámbricos (wireless)

- **Uso de microondas en conexiones vía satélite (cont.)**
 - Utilización del ancho de banda del satélite
 - El ancho de banda del satélite (500 MHz) se suele dividir en varios canales (típicamente entre 12 y 20 canales de 20 a 36 MHz cada uno)
 - Cada canal se puede utilizar para diversos propósitos. Por ejemplo, un canal de 36 MHz se podría usar para:
 - Transmisión de datos a una velocidad de 50 Mbps
 - Transmisión de señales de TV (6 canales de TV de 6 MHz cada uno)
 - Transmisión de voz digitalizada (hasta 800 subcanales de voz digitalizada de 64 Kbps cada uno)
 - Retardo típico de propagación de una señal vía satélite
 - En el caso de satélites geoestacionarios, la señal tiene que recorrer unos 72.000 km. (subida + bajada)
 - Esto se traduce en un retardo de propagación de la señal de unos 270 ms.

Tecnologías de nivel físico

- **Tecnologías de acceso a Internet**

- Tecnologías de acceso móvil

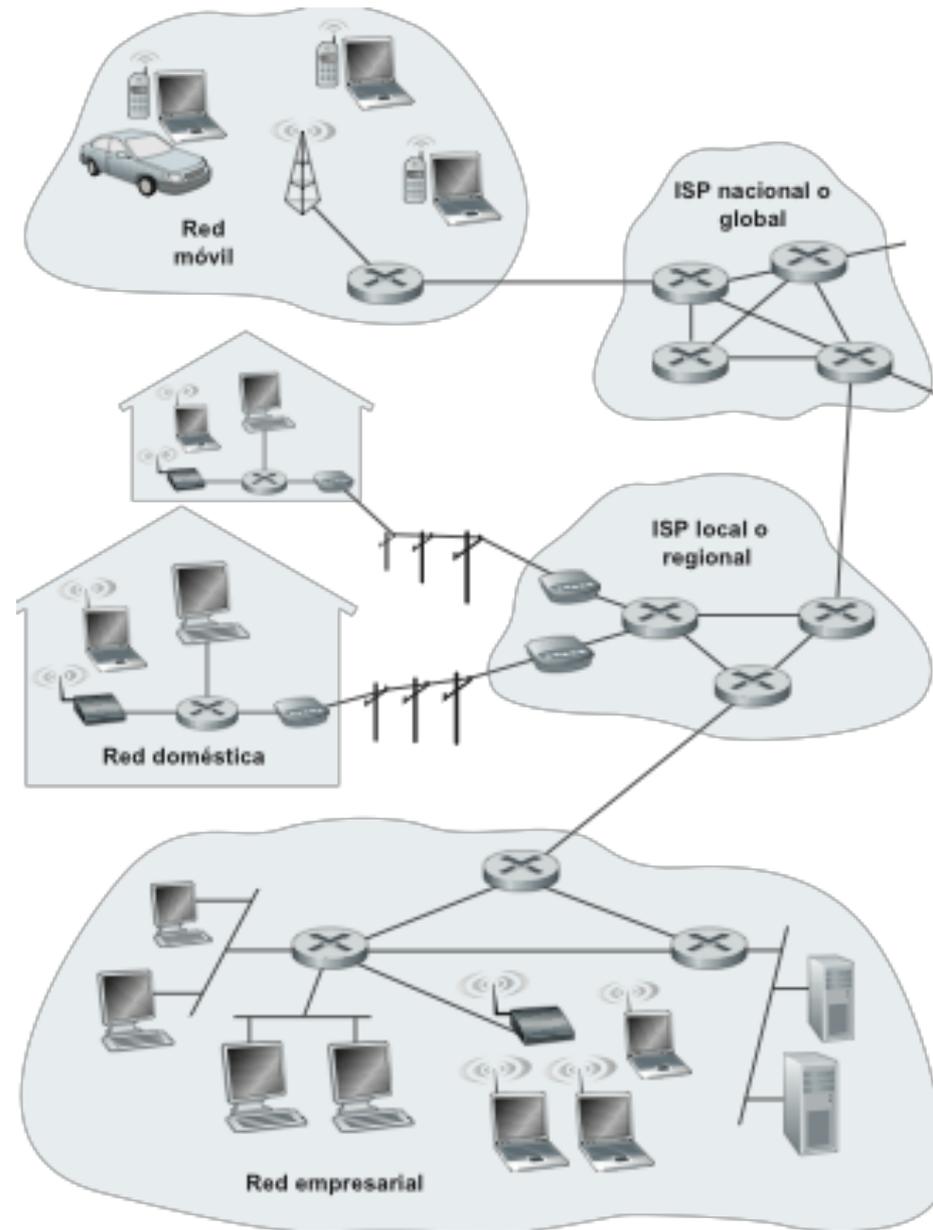
- Redes de telefonía móvil
- Redes públicas inalámbricas (WiMAX)

- Tecnologías de acceso residencial

- Conexión telefónica por módem convencional (dial-up modem)
- ADSL
- Redes de TV por cable (CATV)
- Acceso por fibra (FTTH)

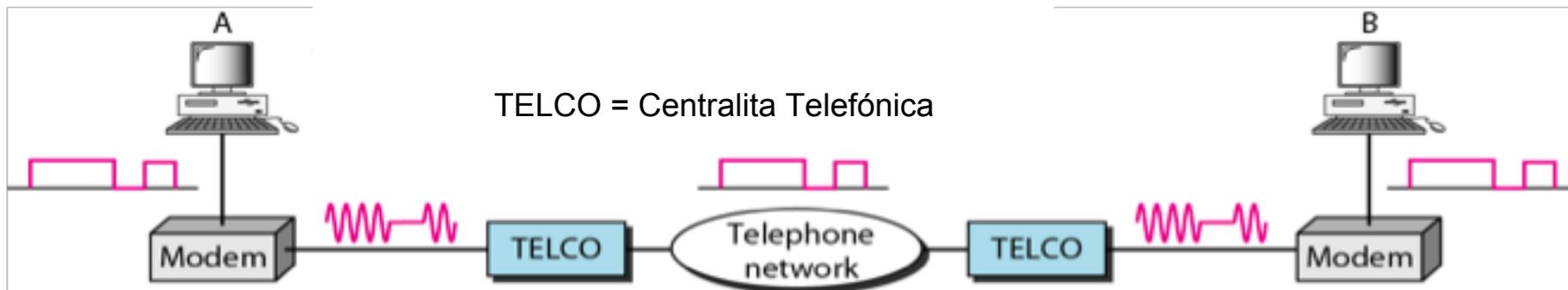
- Tecnologías de acceso empresarial

- Conexión directa por LAN: Ethernet o WiFi
==> se estudian en el tema 5



Tecnologías de nivel físico

- **Conexión telefónica por módem convencional (dial-up modem)**
 - Utiliza el bucle de abonado de la red telefónica convencional
 - Bucle de abonado: conexión entre el usuario final y la centralita telefónica
 - Ancho de banda: 3.000 Hz (usado típicamente para transmisión de voz)
 - Medio de transmisión típico: par trenzado
 - Necesario el uso de MODEM
 - Convierte los datos digitales a una señal analógica portadora
 - Se usan 2.400 Hz del ancho de banda total disponible
 - Estándar de módems
 - V.32: 9,6 Kbps (modulación: 32-QAM)
 - V.32bis: 14,4 Kbps (modulación: 128-QAM)
 - V.34bis: 33,6 Mbps (modulación: constelación de 1664 puntos)
 - V.92: flujo de datos asimétrico (bajada: 56 Kbps; subida: 48Kbps)



Tecnologías de nivel físico

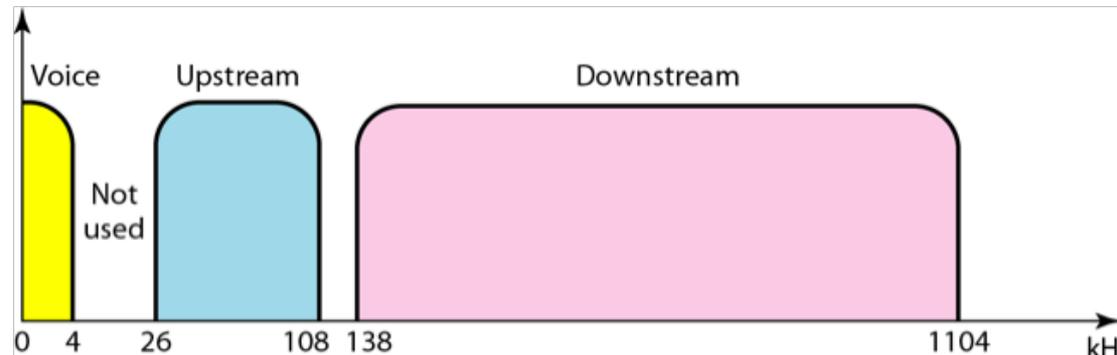
• ADSL

- ADSL = Asymmetric Digital Subscriber Line (bucle de abonado digital asimétrico)
 - Tecnología de multiplexación basada en FDM
 - Permite transmitir voz + datos a través del cable telefónico convencional
 - Aprovecha el ancho de banda no utilizado por la línea telefónica convencional
 - El ancho de banda real del bucle de abonado es de 1,1 Mhz aprox.
 - La transmisión de voz sólo utiliza unos 3000 Hz



- ADSL utiliza flujos de datos de subida y bajada asimétricos

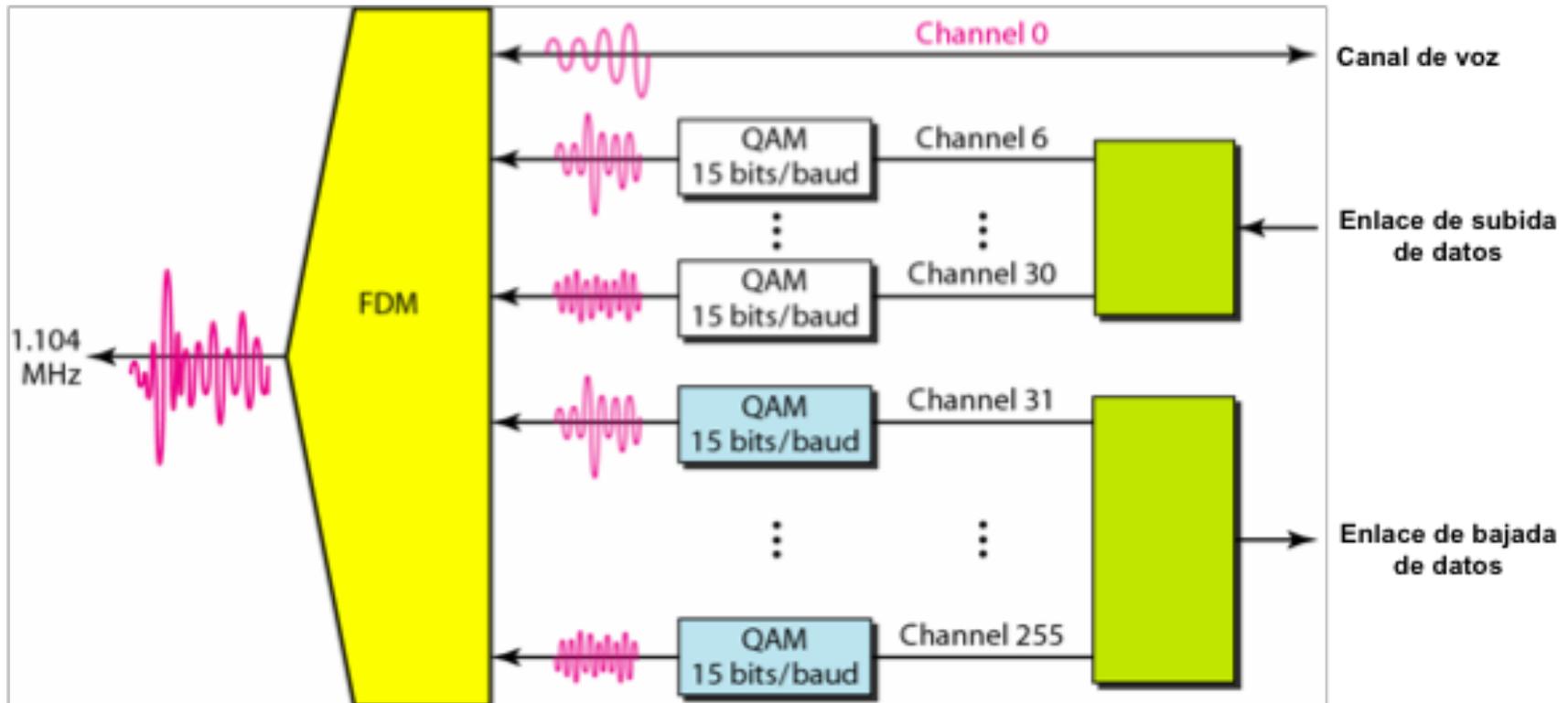
- Canal de voz: ~4KHz
- Subida de datos (upstream): ~80KHz
- Bajada de datos (downstream): ~1MHz



Tecnologías de nivel físico

- **ADSL (cont.)**

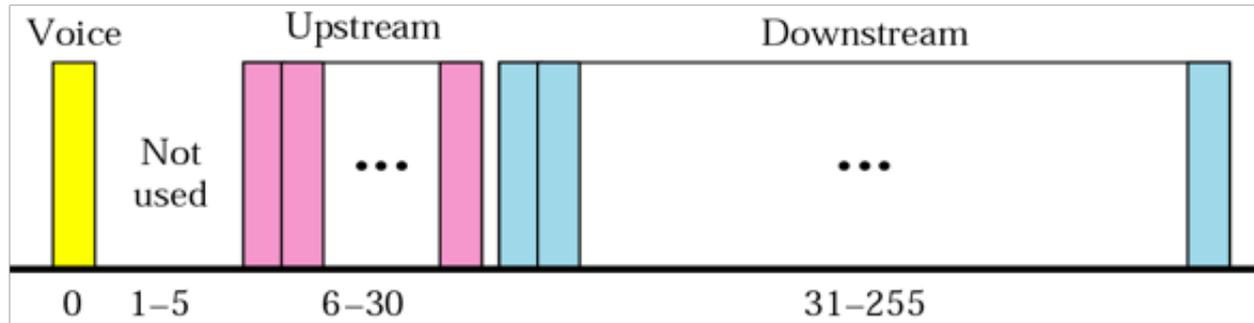
- Técnica de multitono discreto (DMT, Discrete Multitone)
 - DMT permite aprovechar de forma más eficiente el ancho de banda disponible para transmisión de datos en ADSL
 - El ancho de banda de la línea telefónica (1,104 MHz) se divide en 256 canales (cada canal es de 4,312 kHz aprox.)



Tecnologías de nivel físico

- **ADSL (cont.)**

- Técnica de multitono discreto (cont.)



- Canal de voz: canal 0 (4kHz)
 - Los canales 1-5 se usan como banda de guardia
- Enlace de subida de datos (upstream): canales 6-30
 - 24 canales de datos + 1 canal de control
 - Cada canal utiliza 4 kHz con modulación QAM de 15 bits por baudio
 - Velocidad máxima teórica alcanzable: 1,44 Mbps
 - Velocidad real máxima alcanzable: 1 Mbps
(algunos canales no se pueden usar debido al nivel de ruido)
- Enlace de bajada de datos (downstream): canales 31-255
 - 224 canales de datos + 1 canal de control
 - Cada canal utiliza 4 kHz con modulación QAM de 15 bits por baudio
 - Velocidad máxima teórica alcanzable: 13,4 Mbps
 - Velocidad real máxima alcanzable: ~8 Mbps

Tecnologías de nivel físico

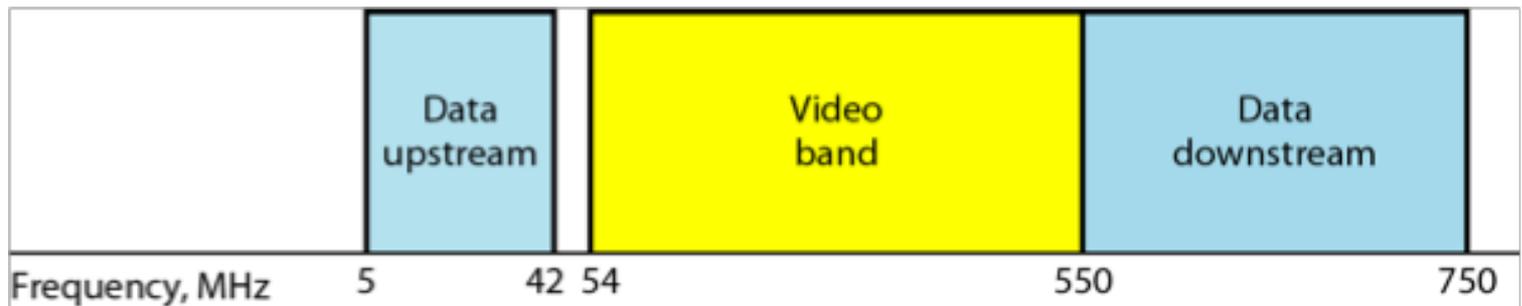
- **ADSL (cont.)**
 - Evolución del ADSL

Tecnología	Velocidad subida	Velocidad bajada
ADSL	1 Mbps	8 Mbps
ADSL2	2 Mbps	12 Mbps
ADSL2+	2 Mbps	24 Mbps

Tecnologías de nivel físico

- **Redes de TV por cable (CATV)**

- Típica en EEUU y otros países
 - Permite recibir decenas de canales de TV a través de una red de cable coaxial
 - Parte del ancho de banda disponible se puede utilizar para transmisión de datos



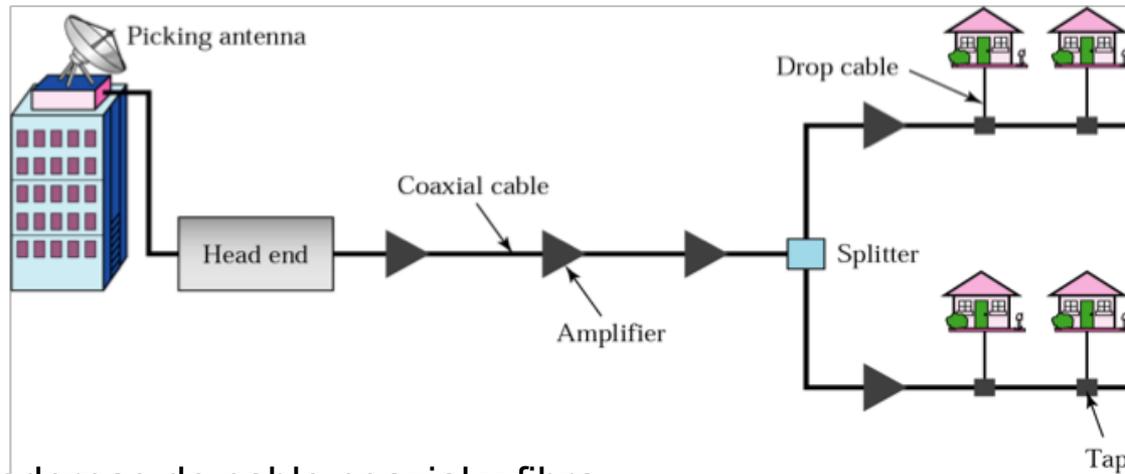
- Distribución de canales

- Canales de TV (54 a 550 Mhz)
 - Hasta 80 canales de TV de 6MHz cada uno
- Canales de bajada de datos (550 a 750 MHz)
 - Varios canales de 6 MHz (compartidos por múltiples usuarios)
 - Velocidad máxima por canal: 30 Mbps (usando modulación 64-QAM)
- Canales de subida de datos (5 a 42 MHz)
 - Varios canales de 6 MHz (compartidos por múltiples usuarios)
 - Velocidad máxima por canal: 12 Mbps (usando modulación QPSK)

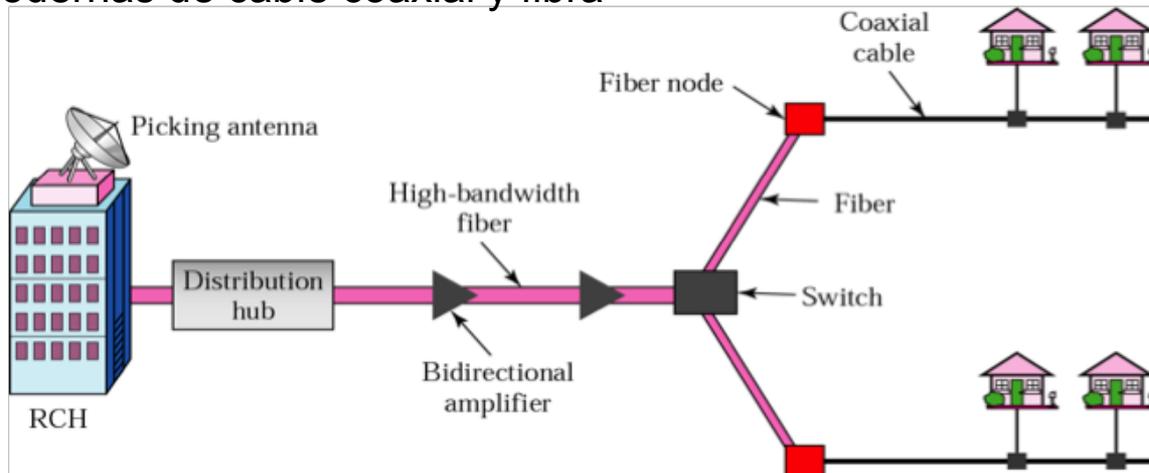
Tecnologías de nivel físico

- **Redes de TV por cable (CATV)**

- Tipos de redes CATV
 - Redes tradicionales de sólo cable coaxial



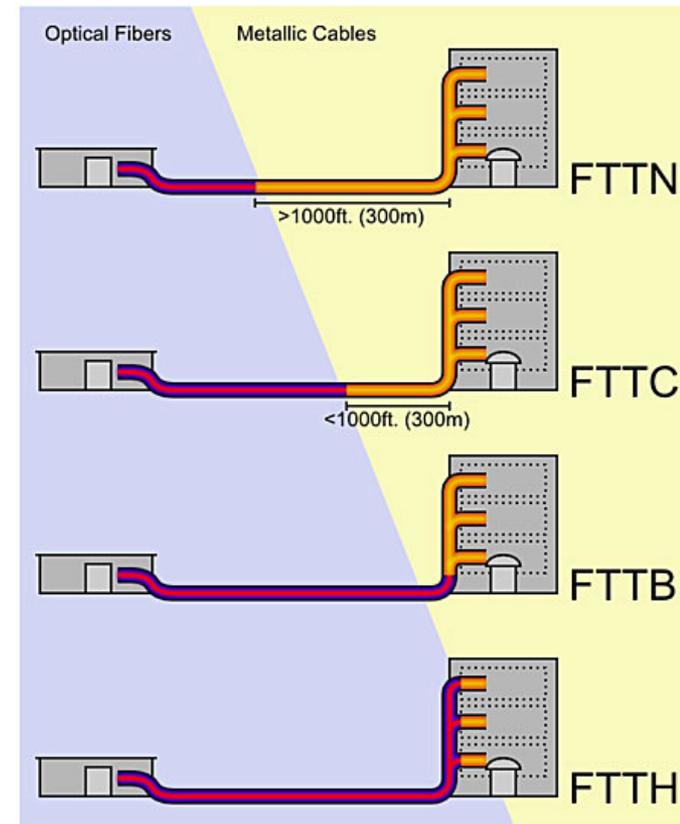
- Redes modernas de cable coaxial y fibra



Tecnologías de nivel físico

- **Fibra hasta el hogar (FTTH = Fibre to the Home)**

- La fibra óptica hasta el hogar se están introduciendo recientemente en muchos países (incluido España)
 - Aplicaciones: transmisión de voz, audio, video, TV y datos
 - Mejores prestaciones en ancho de banda y velocidad que el ADSL
 - Hasta 100 Mbps de velocidad de datos
- Escenarios FTTx según el alcance de la fibra
 - FTTN: Fibra hasta el nodo
 - Conexión de fibra hasta un nodo de comunicaciones
 - Cable de cobre desde el nodo al domicilio del usuario (de 300 m. a 1.5 km.)
 - FTTC: Fibra hasta la cabina
 - Conexión de fibra hasta la cabina de comunicaciones cercana al edificio
 - Resto de cobre (menos de 300 m.)
 - FTTB: Fibra hasta el edificio
 - Conexión de fibra hasta la base del edificio
 - FTTH: fibra hasta el hogar
 - Conexión de fibra hasta el domicilio del usuario



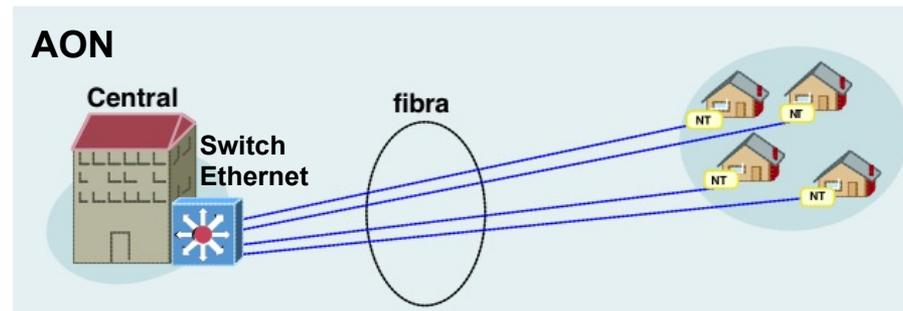
Tecnologías de nivel físico

- **Fibra hasta el hogar (cont.)**

- Existen dos tipos de redes FTTH, según la forma de distribuir la fibra entre los múltiples domicilios de los usuarios

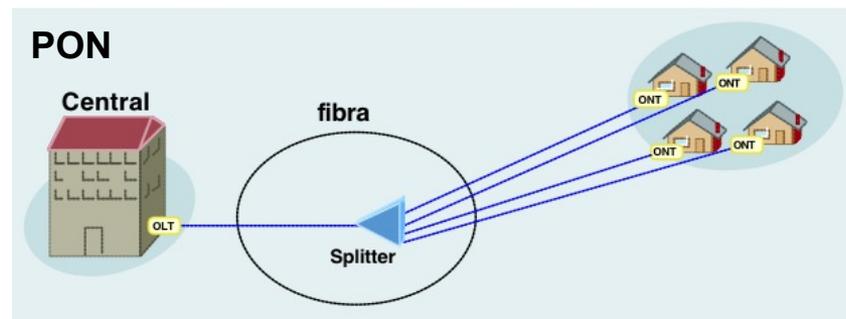
- **Redes ópticas activas (AON, Active Optical Networks)**

- La fibra se distribuye entre los distintos usuarios mediante un dispositivo de conmutación (switch Ethernet o router)



- **Redes ópticas pasivas (PON, Pasive Optical Networks)**

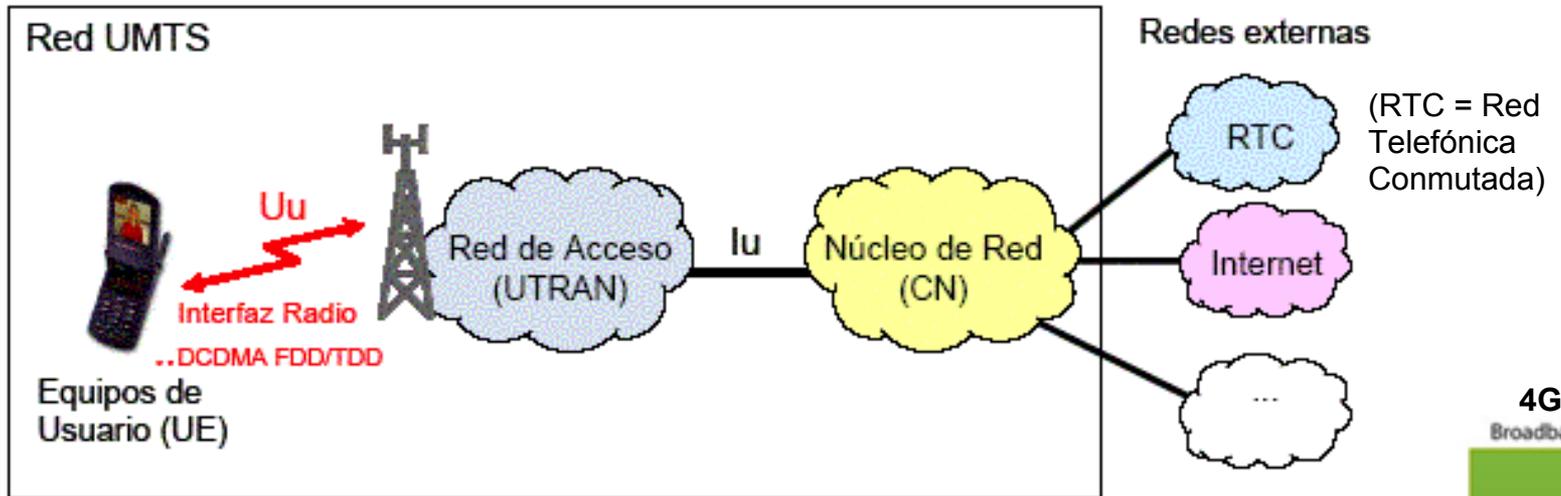
- La fibra se distribuye entre los distintos usuarios mediante un distribuidor óptico pasivo (splitter)



Tecnologías de nivel físico

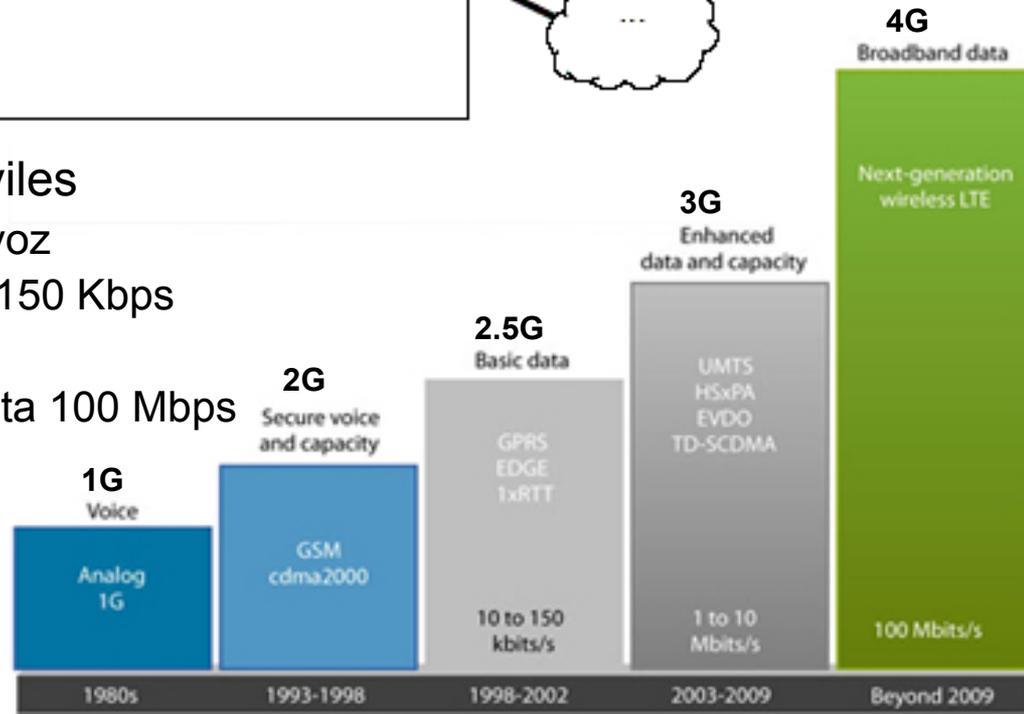
- **Redes de telefonía móvil**

- Acceso a Internet a través de la red de telefonía móvil



- Evolución de las tecnologías móviles

- Red móvil analógica (1G): sólo voz
- GSM/GPRS (2G y 2.5G): hasta 150 Kbps
- UMTS (3G): hasta 10 Mbps
- Implementación futura (4G): hasta 100 Mbps



Tecnologías de nivel físico

- **Redes públicas inalámbricas: WiMAX**

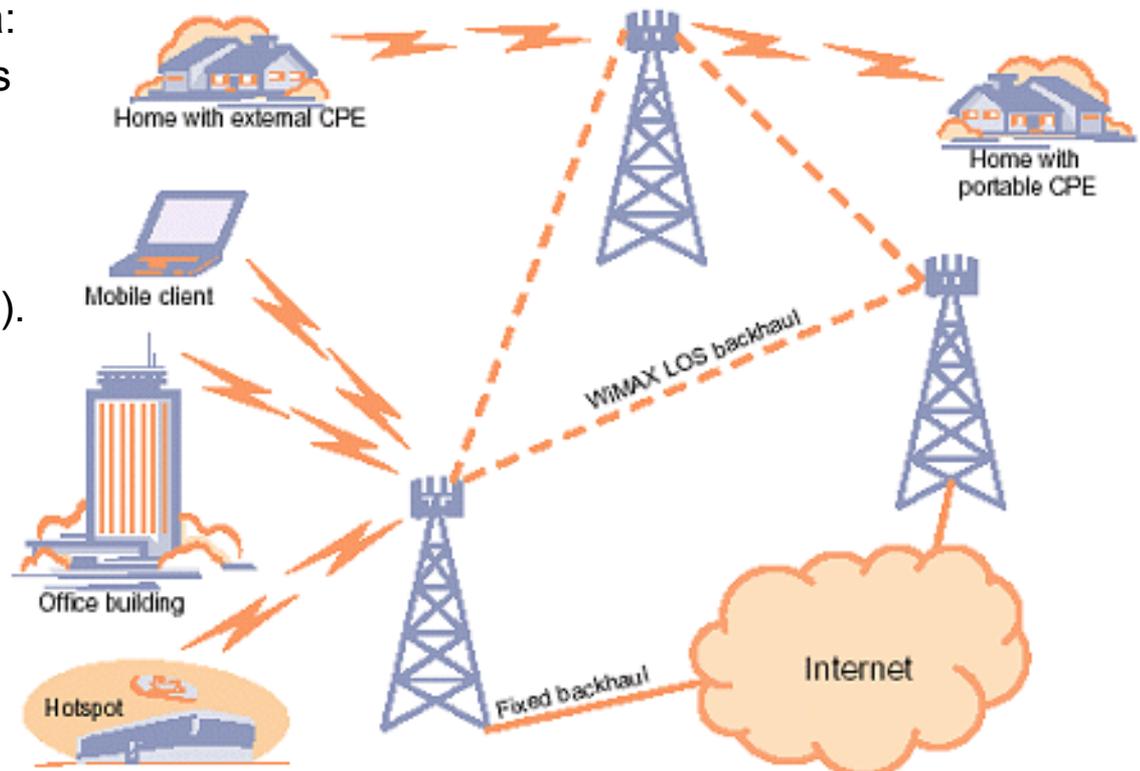
- WiMAX= Worldwide Interoperability for Microwave Access

- Red inalámbrica de área metropolitana

- Basado en el estándar IEEE 802.16
- Utiliza señales de microondas de 2,4 a 3,5 GHz

- Prestaciones típicas

- Radio de cobertura: hasta 80 kilómetros
- Velocidad: hasta 75 Mbps (35+35 Mbps de subida y bajada).



CPE = equipo de usuario
LOS = Línea de visión

Hotspot = punto de conexión inalámbrico
Backhaul = conexión o enlace de datos