



TRABAJO PRÁCTICO IV – Parte I

Docentes:

Ing. Mario Tejerina – Ing. Fernanda Villarrubia

Temas para el desarrollo del práctico

- Canales de Comunicación
- Medios guiados
- Medio no guiados

PARTE I

Marco Teórico (Unidad 3:2)

1. Conceptos fundamentales y clasificación del canal

1.1 Definición de canal de comunicación

Se denomina canal de comunicación al medio físico o lógico a través del cual una señal portadora de información se propaga desde un transmisor hasta un receptor. El canal no es un elemento pasivo: modifica la señal al atenuarla, retardarla, distorsionarla y agregarle ruido e interferencias propias del medio.

Desde el punto de vista de la teoría de la información, el canal es el componente que impone las limitaciones físicas y matemáticas al sistema: ancho de banda disponible, relación señal a ruido, capacidad máxima de transmisión y probabilidad de error.

Definición operativa: el canal es el conjunto de todos los procesos físicos comprendidos entre la salida del transmisor y la entrada del receptor, incluidos el medio de propagación y las fuentes de ruido e interferencia que actúan sobre la señal durante su tránsito.

1.2 Modelo funcional fuente–canal–destino

El modelo clásico de Shannon y Weaver describe un sistema de comunicación mediante seis bloques funcionales encadenados:

- **Fuente de información:** genera el mensaje (voz, texto, datos, imagen).
- **Transmisor:** transforma el mensaje en una señal compatible con el canal (codifica, modula, amplifica).

- **Canal:** medio físico de propagación; introduce atenuación, distorsión y ruido.
- **Fuente de ruido:** perturbaciones aleatorias que se suman a la señal dentro del canal.
- **Receptor:** realiza la operación inversa del transmisor (demodula, decodifica, regenera).
- **Destino:** consumidor final del mensaje.

El diagrama de bloques se representa como una cadena lineal donde el ruido se inyecta sobre el bloque canal:

Fuente → Transmisor → [Canal + Ruido] → Receptor → Destino

Este modelo es la base conceptual sobre la que se definen tanto el teorema de Shannon-Hartley (visto en señales) como las clasificaciones y modelos de canal que se desarrollarán en esta unidad.

1.3 Clasificación por dirección de la transmisión

Según el sentido en que la información puede fluir entre dos extremos, los canales se clasifican en tres modos de operación:

- **Simplex:** la información circula en un único sentido. El emisor sólo transmite y el receptor sólo recibe. Ejemplos: radiodifusión AM/FM, televisión abierta, teclado-PC, sensores unidireccionales.
- **Half-duplex (semidúplex):** ambos extremos pueden transmitir y recibir, pero no de manera simultánea: deben alternarse el uso del canal. Ejemplos: walkie-talkie, intercomunicadores con pulsador PTT, algunas variantes históricas de Ethernet sobre hub.
- **Full-duplex (dúplex completo):** ambos extremos transmiten y reciben simultáneamente. Requiere dos canales separados (en frecuencia, en tiempo o en par físico) o técnicas de cancelación de eco. Ejemplos: telefonía fija, telefonía celular, Ethernet conmutado moderno.

Tabla 1.1 — Comparación de los modos de transmisión:

Modo	Sentido	Simultaneidad	Recursos del canal	Ejemplo típico
Simplex	Único	No aplica	1 vía	Radio FM, TV abierta
Half-duplex	Doble	No	1 vía compartida	Walkie-talkie
Full-duplex	Doble	Sí	2 vías (o equivalentes)	Teléfono, Ethernet conmutado

1.4 Clasificación por medio de propagación

La segunda gran clasificación atiende a la naturaleza física del medio que sostiene la propagación de la señal:

- **Medios guiados (cableados o confinados):** la señal se propaga confinada dentro de una estructura material que la guía. La onda electromagnética queda contenida en el conductor o en la fibra. Ejemplos: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, guía de onda.

- **Medios no guiados (inalámbricos o de espacio libre):** la señal se propaga como onda electromagnética irradiada por una antena, sin medio físico que la confine. Ejemplos: radio, microondas, infrarrojo, óptico en espacio libre.

Esta distinción es decisiva porque condiciona los fenómenos físicos dominantes (atenuación, dispersión, multitrayecto, interferencias), el ancho de banda disponible, el costo de despliegue y las consideraciones regulatorias (los medios no guiados utilizan el espectro radioeléctrico, que es un recurso público administrado por la ITU y las autoridades nacionales).

1.5 Canal físico y canal lógico

La distinción entre canal físico y canal lógico es central para entender los sistemas modernos de comunicación:

- **Canal físico:** es el medio material o el espacio real por el que se propaga la señal electromagnética. Tiene propiedades medibles (impedancia, atenuación por metro, ancho de banda, retardo de propagación).
- **Canal lógico:** es una abstracción definida sobre uno o varios canales físicos. Oculta los detalles del medio y presenta a las capas superiores una interfaz uniforme (por ejemplo, un "canal" de voz de 64 kbit/s en una trama E1, una "subportadora" en OFDM, o un "canal" lógico en un sistema celular).

Sobre un mismo canal físico pueden coexistir múltiples canales lógicos mediante técnicas de multiplexación (FDM, TDM, OFDM, CDM), tema ya tratado en la unidad correspondiente. Recíprocamente, un canal lógico puede sostenerse sobre varios canales físicos (por ejemplo, agregación de enlaces).

Resumen del Bloque 1

- El canal es todo lo que está entre el transmisor y el receptor, e introduce atenuación, distorsión y ruido.
- El modelo funcional Shannon-Weaver consta de seis bloques: fuente, transmisor, canal, fuente de ruido, receptor y destino.
- Según la dirección: simplex (un sentido), half-duplex (doble sentido alternado) y full-duplex (doble sentido simultáneo).
- Según el medio: guiados (cable, fibra) y no guiados (espacio libre).
- El canal físico es el medio real; el canal lógico es una abstracción sobre el físico, indispensable para multiplexación y para definir interfaces de capas superiores.

2. Medios guiados

Los medios guiados utilizan una estructura material — un conductor metálico o una guía dieléctrica — para confinar la onda electromagnética que transporta la señal. Esto les da, en general, mayor inmunidad al ruido externo, mejor previsibilidad de la atenuación y la posibilidad de ofrecer servicio en topologías controladas. A continuación se analizan los tres medios guiados de mayor uso: par trenzado, cable coaxial y fibra óptica.

2.1 Par trenzado

Un par trenzado está formado por dos conductores de cobre aislados, dispuestos en hélice uno alrededor del otro. El trenzado es esencial: provoca que el ruido inducido en cada conductor sea aproximadamente el mismo y, al transmitirse la señal en modo diferencial, el ruido de modo común se cancela en el receptor.

Un cable de par trenzado típico para redes contiene cuatro pares con pasos de trenzado distintos por par (para minimizar el acoplamiento entre pares).

Variantes según apantallamiento:

- UTP (Unshielded Twisted Pair): sin apantallamiento. Es el más económico y el más usado en LAN.
- FTP / F-UTP (Foiled Twisted Pair): los cuatro pares quedan envueltos en una lámina conjunta. Mejora la inmunidad a EMI.
- STP (Shielded Twisted Pair): cada par individual tiene su apantallamiento, y suele haber también un apantallamiento global. Es el de mejor desempeño y el más costoso.

Categorías normalizadas (TIA/EIA-568 e ISO/IEC 11801):

Categoría	Ancho de banda	Velocidad máx.	Aplicación principal	Distancia
Cat 5e	100 MHz	1 Gbit/s	Gigabit Ethernet (1000BASE-T)	100 m
Cat 6	250 MHz	1 Gbit/s	Gigabit Ethernet, 10G hasta 55 m	100 m (1G)
Cat 6a	500 MHz	10 Gbit/s	10 Gigabit Ethernet (10GBASE-T)	100 m
Cat 7	600 MHz	10 Gbit/s	10GBASE-T en entornos con EMI	100 m
Cat 7a	1000 MHz	10 Gbit/s	Multimedia, 10G+, banda ancha CATV	100 m
Cat 8	2000 MHz	40 Gbit/s	Data center, enlaces cortos	30 m

Limitaciones del par trenzado: atenuación creciente con la frecuencia (efecto pelicular o skin effect), sensibilidad a la EMI cuando es UTP en entornos industriales, y distancia limitada a unos 100 m sin regeneración para los estándares Ethernet sobre cobre.

2.2 Cable coaxial

El cable coaxial está formado por cuatro elementos concéntricos:

- Conductor central de cobre (sólido o trenzado), por el que circula la señal.
- Material dieléctrico aislante (polietileno o teflón), que separa el conductor central del externo.
- Malla conductora externa de cobre o aluminio, que actúa como retorno de la señal y como blindaje contra interferencias.
- Cubierta exterior aislante (PVC), de protección mecánica.

Esta geometría axisimétrica confina el campo electromagnético entre los dos conductores: el coaxial es, en rigor, una línea de transmisión TEM con muy buenas propiedades de blindaje, capaz de soportar anchos de banda muy superiores al par trenzado.

Impedancia característica

$$Z_0 = (138 / \sqrt{\epsilon_r}) \cdot \log_{10}(D/d) \quad [\Omega]$$

donde D es el diámetro interno de la malla, d el diámetro del conductor central y ϵ_r la permitividad relativa del dieléctrico. Los dos valores normalizados de uso masivo son:

- 50 Ω — transmisión de datos y RF: Ethernet histórico (10BASE-2 y 10BASE-5), equipos de radio, instrumentación, antenas. Optimiza el compromiso entre máxima potencia transmisible y mínima atenuación.
- 75 Ω — distribución de video y TV por cable, antenas de TV, audio digital S/PDIF. Optimiza la mínima atenuación para señales de banda ancha de video.

Ventajas: mejor inmunidad a EMI que el UTP, mayor ancho de banda, mayor distancia sin regeneración. Inconvenientes: rigidez mecánica, mayor costo y mayor diámetro que el par trenzado, y dificultad para tendido en interiores complejos. En redes de área local fue desplazado por UTP; sigue siendo dominante en distribución de TV por cable (HFC), en enlaces de antena y en aplicaciones de RF.

2.3 Fibra óptica

La fibra óptica transmite información mediante pulsos de luz que se propagan por una guía dieléctrica cilíndrica. La señal se mantiene confinada dentro del núcleo gracias al fenómeno de reflexión total interna: cuando una onda luminosa incide desde un medio de mayor índice de refracción (núcleo) sobre otro de menor

índice (revestimiento) con un ángulo superior al ángulo crítico, se refleja completamente sin pérdida por refracción.

Una fibra óptica está formada por tres regiones concéntricas:

- **Núcleo (core):** región central de vidrio de muy alta pureza, con índice de refracción n_1 . Es por donde se propaga la luz.
- **Revestimiento (cladding):** región externa concéntrica con índice $n_2 < n_1$, que confina la luz por reflexión total interna.
- **Recubrimiento (coating, buffer):** capa polimérica de protección mecánica que no participa en la propagación óptica.

Tipos de fibra:

- **Multimodo de índice escalonado (MM-SI):** núcleo grueso (50 a 62,5 μm) e índice uniforme. Permite la propagación de muchos modos, lo que produce dispersión modal y limita el producto ancho de banda \times distancia. Económica, para enlaces cortos.
- **Multimodo de índice gradual (MM-GI):** núcleo con perfil de índice parabólico. Reduce la dispersión modal porque los rayos que toman caminos más largos viajan, en promedio, por regiones de menor índice (y por lo tanto más rápido). Usada en redes LAN ópticas y data centers.
- **Monomodo (SMF, Single-Mode Fiber):** núcleo muy delgado (8 a 10 μm) que admite un único modo de propagación. Elimina la dispersión modal y permite anchos de banda y distancias muy superiores. Es la fibra de redes troncales, submarinas y de larga distancia.

Ventanas de transmisión:

La atenuación de la fibra de sílice presenta mínimos relativos en longitudes de onda específicas, que históricamente se denominan ventanas de transmisión. Para cada ventana existen fuentes ópticas (láseres, LED) y detectores optimizados:

Ventana	Longitud de onda	Atenuación típica	Fibra típica	Aplicación
1ª ventana	850 nm	$\approx 2,5$ a $3,0$ dB/km	Multimodo	LAN, distancias cortas
2ª ventana	1310 nm	$\approx 0,35$ dB/km	SMF / MM	Mínima dispersión cromática, redes metropolitanas
3ª ventana	1550 nm	$\approx 0,20$ dB/km	SMF	Mínima atenuación, larga distancia, troncales y submarinos, DWDM

Ventajas de la fibra óptica: ancho de banda enorme (varios THz por fibra), atenuación bajísima (0,2 dB/km en 3ª ventana), inmunidad total a EMI (no es un conductor eléctrico), aislamiento galvánico, gran seguridad

(intercepción mucho más difícil) y peso reducido. Inconvenientes: requiere conectores y empalmes de precisión, equipos terminales más costosos y curvaturas mínimas estrictas.

2.4 Tabla comparativa de medios guiados

Tabla 2.1 — Síntesis comparativa de los tres medios guiados estudiados:

Característica	Par trenzado (UTP/STP)	Cable coaxial	Fibra óptica
Ancho de banda	100 MHz – 2 GHz	Hasta 1 GHz	Varios THz
Velocidad típica	1 a 40 Gbit/s	Hasta ~10 Gbit/s (DOCSIS)	10 Gbit/s a 100+ Gbit/s
Atenuación típica	Alta y creciente con f	Media	Muy baja (0,2 dB/km)
Distancia sin regen.	100 m	Cientos de metros	Decenas a cientos de km
Inmunidad a EMI	Baja (UTP) / media (STP)	Media a alta	Total (no es conductor eléctrico)
Costo del cable	Bajo	Medio	Medio-alto (cable) y alto (terminales)
Costo de instalación	Bajo	Medio	Alto (empalmes ópticos)
Aplicación dominante	LAN sobre cobre	TV por cable, RF	Troncales, FTTH, data centers

Resumen del Bloque 2

- Par trenzado: dos conductores trenzados que cancelan ruido de modo común. UTP, FTP y STP. Categorías Cat 5e a Cat 8 con anchos de banda de 100 MHz a 2 GHz. Es el medio dominante en LAN sobre cobre.
- Cable coaxial: estructura concéntrica con impedancia característica de 50 Ω (datos, RF) o 75 Ω (video, TV). Mejor blindaje que el UTP y mayor ancho de banda; uso actual concentrado en distribución HFC y RF.
- Fibra óptica: guía dieléctrica donde la luz se propaga por reflexión total interna. Multimodo SI/GI para distancias cortas; monomodo para largas distancias. Ventanas de transmisión en 850, 1310 y 1550 nm con atenuaciones de aprox. 3,0 / 0,35 / 0,20 dB/km.
- En las tres dimensiones críticas — ancho de banda, atenuación e inmunidad EMI — la fibra óptica supera ampliamente a los medios de cobre, al costo de mayor complejidad en terminales y empalmes.

3. Medios no guiados

Los medios no guiados son aquellos en que la señal se propaga como una onda electromagnética irradiada por una antena, sin estructura material que la confine. El medio real es el espacio libre (o la atmósfera), por lo que las propiedades del enlace dependen fuertemente de la frecuencia, la distancia, el clima y la geometría del entorno. Su recurso fundamental es el espectro radioeléctrico, que es escaso y está regulado internacionalmente.

3.1 Espectro electromagnético

Todas las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío a la velocidad de la luz $c = 3 \times 10^8$ m/s. Frecuencia f y longitud de onda λ están relacionadas por:

$$c = \lambda \cdot f \quad \Rightarrow \quad \lambda = c / f$$

Esta relación es la base para identificar bandas, calcular dimensiones de antenas (típicamente $\lambda/2$ o $\lambda/4$) y estimar el comportamiento físico de la onda.

El espectro electromagnético abarca desde frecuencias extremadamente bajas (algunos Hz) hasta los rayos gamma (10^{20} Hz y superiores). Para las comunicaciones se utiliza principalmente la región comprendida entre 3 kHz y unos 300 GHz (espectro radioeléctrico), y el rango óptico ($\sim 10^{14}$ Hz) en fibra y en enlaces FSO.

3.2 Bandas del espectro radioeléctrico según la ITU

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) divide el espectro radioeléctrico en bandas decimales. Cada banda recibe una sigla y un nombre estándar:

Sigla	Nombre	Frecuencia	Longitud de onda	Aplicaciones típicas
ELF	Extremadamente baja	3 Hz – 30 Hz	100 000 – 10 000 km	Comunicación submarina
SLF	Súper baja	30 Hz – 300 Hz	10 000 – 1000 km	Comunicación submarina
ULF	Ultra baja	300 Hz – 3 kHz	1000 – 100 km	Minería, submarinos
VLF	Muy baja	3 kHz – 30 kHz	100 – 10 km	Radionavegación, submarinos
LF	Baja	30 kHz – 300 kHz	10 – 1 km	Onda larga, navegación
MF	Media	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	Radio AM

Sigla	Nombre	Frecuencia	Longitud de onda	Aplicaciones típicas
HF	Alta	3 MHz – 30 MHz	100 – 10 m	Onda corta, radioaficionados
VHF	Muy alta	30 MHz – 300 MHz	10 – 1 m	Radio FM, TV VHF, aeronáutica
UHF	Ultra alta	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	TV UHF, celular, WiFi 2,4 GHz, GPS
SHF	Súper alta	3 GHz – 30 GHz	10 – 1 cm	WiFi 5 GHz, microondas, satélites
EHF	Extremadamente alta	30 GHz – 300 GHz	10 – 1 mm	5G mmWave, radar, satélite avanzado
THF	Tremendamente alta	300 GHz – 3 THz	1 – 0,1 mm	Imagen terahertz, investigación

3.3 Radio: HF, VHF y UHF

Las bandas de radio comprenden el rango de aproximadamente 3 MHz a 3 GHz y son el soporte de la mayor parte de las comunicaciones inalámbricas terrestres. Sus mecanismos de propagación dominantes dependen fuertemente de la frecuencia:

- **HF (3 – 30 MHz, $\lambda = 100$ a 10 m):** se propaga principalmente por onda ionosférica, reflejándose en las capas D, E y F de la ionósfera. Permite enlaces transcontinentales con potencias moderadas, pero el canal es muy variable según la hora, la estación y la actividad solar. Aplicaciones: radioaficionados, marina, aviación de largo alcance, broadcast de onda corta.
- **VHF (30 – 300 MHz, $\lambda = 10$ a 1 m):** propagación esencialmente por onda directa (línea de vista) y por onda terrestre limitada a unas decenas de km. La ionósfera deja de reflejar de forma confiable. Aplicaciones: radio FM (88-108 MHz), TV de canales bajos, comunicaciones aeronáuticas (118-137 MHz), marítimas (156 MHz), servicios de emergencia.
- **UHF (300 MHz – 3 GHz, $\lambda = 1$ m a 10 cm):** propagación estrictamente por línea de vista, con buena penetración en edificios a las frecuencias más bajas y atenuación creciente con la frecuencia. Es la banda más explotada hoy: telefonía celular (700 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz), WiFi 2,4 GHz, Bluetooth, GPS (1,5 GHz), TV digital terrestre.

3.4 Microondas terrestres

El término microondas designa, en sentido estricto, las frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz (parte superior de UHF, SHF y EHF). Las microondas terrestres son enlaces punto a punto entre antenas parabólicas montadas sobre torres elevadas, con visibilidad directa (Line Of Sight, LOS) entre ellas.

Características técnicas:

- Alta directividad de las antenas parabólicas (ganancia de 30 a 50 dBi), lo que concentra la potencia en un haz angosto y reutiliza el espectro.
- Distancia entre repetidores limitada por la curvatura terrestre y por la primera zona de Fresnel; típicamente 30 a 50 km en llano.
- Susceptibilidad a la atenuación por lluvia a partir de ~10 GHz (rain fade), que crece marcadamente con la frecuencia.
- Aplicaciones: backhaul celular, enlaces troncales sobre territorio sin fibra, redes corporativas punto a punto, transporte de TV.

3.5 Microondas satelitales

Un enlace satelital reemplaza el conjunto de repetidores terrestres por un único repetidor situado sobre la Tierra, lo que permite cubrir áreas continentales o incluso hemisféricas. El satélite actúa como repetidor activo: recibe en una frecuencia (uplink) y retransmite en otra (downlink) sobre el área iluminada por su antena.

Clasificación según altura orbital:

Órbita	Altura típica	Período	Retardo ida-vuelta	Características
LEO	160 – 2 000 km	≈ 90 a 120 min	≈ 10 – 30 ms	Necesita constelación; satélites pequeños
MEO	2 000 – 35 786 km	≈ 2 a 24 horas	≈ 50 – 150 ms	GPS, Galileo, GLONASS
GEO	35 786 km	24 horas (síncrono)	≈ 240 – 280 ms	Aparece fijo en el cielo; cobertura ~1/3 del globo

La órbita geoestacionaria es la única que permite mantener antenas terrestres fijas (no necesitan seguir al satélite), pero impone un retardo de propagación de aproximadamente 240 a 280 ms ida y vuelta, lo cual afecta protocolos sensibles al retardo (TCP, VoIP). Las constelaciones LEO modernas (Iridium, Starlink, OneWeb) ofrecen retardos comparables al cable, al precio de requerir cientos o miles de satélites y seguimiento dinámico.

3.6 Infrarrojo

Las comunicaciones por infrarrojo utilizan ondas electromagnéticas en el rango de 300 GHz a 430 THz (λ de 1 mm a 700 nm aproximadamente). Son señales que no atraviesan paredes y que tienen alcance limitado, lo cual las hace adecuadas para enlaces de corto alcance y para entornos donde se desea contener la propagación dentro de un recinto.

Aplicaciones: controles remotos de electrónica de consumo, IrDA (ya en desuso para datos), enlaces punto a punto de corta distancia, sensores de presencia, comunicaciones intra-edificio en aplicaciones especiales. Su importancia comunicacional actual es menor frente a las soluciones de radio en UHF/SHF.

3.7 Óptico en espacio libre (FSO)

El óptico en espacio libre (Free Space Optics, FSO) emplea un haz láser modulado, transmitido entre dos terminales con línea de vista a través de la atmósfera o del espacio. Conceptualmente es equivalente a una fibra óptica sin fibra: usa las mismas longitudes de onda del infrarrojo cercano (típicamente 850 o 1550 nm) y la misma electrónica óptica, pero el medio físico es la atmósfera.

Ventajas: anchos de banda comparables a la fibra (Gbit/s y superiores), no requiere licencia de espectro radioeléctrico (por estar fuera de las bandas reguladas), despliegue rápido. Inconvenientes: requiere LOS estricta, alineación de precisión y es muy sensible a niebla, lluvia intensa, polvo y a turbulencia atmosférica (scintillation). Aplicaciones: enlaces entre edificios en zonas urbanas, backhaul de emergencia, comunicaciones intersatelitales (donde la atmósfera no interviene y el desempeño es excelente).

3.8 Mecanismos de propagación

Cuando una onda electromagnética se propaga en un medio no guiado, su trayectoria y energía resultan afectadas por la interacción con obstáculos, irregularidades del medio y la atmósfera. Los mecanismos físicos básicos son cinco:

- **Reflexión:** ocurre cuando la onda incide sobre una superficie cuyas dimensiones son mucho mayores que λ (paredes, suelo, edificios). Parte de la energía rebota; el ángulo de incidencia es igual al de reflexión. Es la causa principal de multitrayecto en interiores y ciudades.
- **Refracción:** cambio de dirección al pasar de un medio a otro de distinto índice de refracción. En propagación atmosférica, el gradiente vertical de índice causa una curvatura del haz que efectivamente extiende el horizonte de radio respecto del horizonte óptico (radio horizonte $\approx 4/3$ del horizonte geométrico).
- **Difracción:** la onda bordea obstáculos cuyas dimensiones son comparables a λ (aristas de edificios, colinas). Permite recibir señal en zonas sin línea de vista directa (sombras), aunque con atenuación adicional. Es relevante en celular en entornos urbanos.
- **Dispersión (scattering):** la onda se dispersa en muchas direcciones al encontrar irregularidades, gotas, partículas o superficies rugosas con dimensiones del orden de λ . Ejemplo: la dispersión por lluvia o por aerosoles atmosféricos. Provoca pérdida adicional y desvanecimiento.
- **Absorción atmosférica:** los gases de la atmósfera (vapor de agua, oxígeno) absorben energía electromagnética en bandas específicas. Hay picos pronunciados de absorción del agua a 22 GHz y 183 GHz, y del oxígeno a 60 GHz. Entre los picos quedan ventanas atmosféricas usables para enlaces inalámbricos de muy alta frecuencia.

Estos cinco mecanismos no actúan aisladamente: en cualquier enlace inalámbrico real coexisten en proporciones que dependen de la frecuencia, la geometría del entorno y las condiciones atmosféricas. La

combinación de varias trayectorias por reflexión y difracción da origen a la propagación multitrayecto (multipath), que produce desvanecimiento y será tratada en el bloque de fenómenos de degradación del canal.

Resumen del Bloque 3

- Todas las ondas electromagnéticas cumplen $c = \lambda \cdot f$ con $c = 3 \times 10^8$ m/s. Esta relación permite vincular banda, dimensión de antena y comportamiento físico.
- La ITU clasifica el espectro radioeléctrico en bandas decimales: VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF y EHF, cada una con propagación característica y aplicaciones específicas.
- Las microondas terrestres son enlaces LOS de alta directividad (30 a 50 km típico); las satelitales se clasifican en LEO, MEO y GEO, con retardos de ~10-30, ~50-150 y ~240-280 ms respectivamente.
- El infrarrojo y el FSO son medios ópticos de espacio libre: alto ancho de banda pero exigen LOS y son sensibles a la atmósfera.
- Los mecanismos de propagación son cinco: reflexión, refracción, difracción, dispersión y absorción atmosférica. Coexisten en todo enlace real y son la base del análisis del canal inalámbrico.

PARTE II

PARTE PRÁCTICA

Ejercicio 1 — Modelo funcional

Dibuje el modelo funcional fuente–canal–destino y ubique en él los siguientes elementos de un sistema de telefonía celular: micrófono, codificador de voz, modulador QAM, antena del celular, atmósfera urbana, antena de la estación base, demodulador, decodificador, parlante.

Ejercicio 2 — Modos de transmisión

Clasifique cada uno de los siguientes sistemas como simplex, half-duplex o full-duplex, justificando la respuesta:

- a) Sistema de altoparlantes de una estación de trenes.
- b) Un par de handies usados por personal de seguridad.
- c) Llamada de voz por celular 4G.
- d) Transmisión de TV digital terrestre.
- e) Conexión Ethernet conmutada entre una PC y un switch.
- f) Comunicación entre el control remoto y el televisor.

Ejercicio 3 — Identificación de medio

Para cada situación, indique el medio (guiado o no guiado) y la tecnología específica más apropiada. Justifique con dos criterios técnicos:

- a) Backbone submarino transatlántico de 6000 km.
- b) Enlace de datos entre dos edificios separados 400 m, en una ciudad con espectro saturado.
- c) Red de área local para 50 puestos de trabajo en una oficina.
- d) Conexión de TV abierta para usuarios residenciales en un pueblo rural.
- e) Distribución interna de TV en un edificio de departamentos.
- f) Comunicación con una plataforma marítima a 200 km de la costa.