

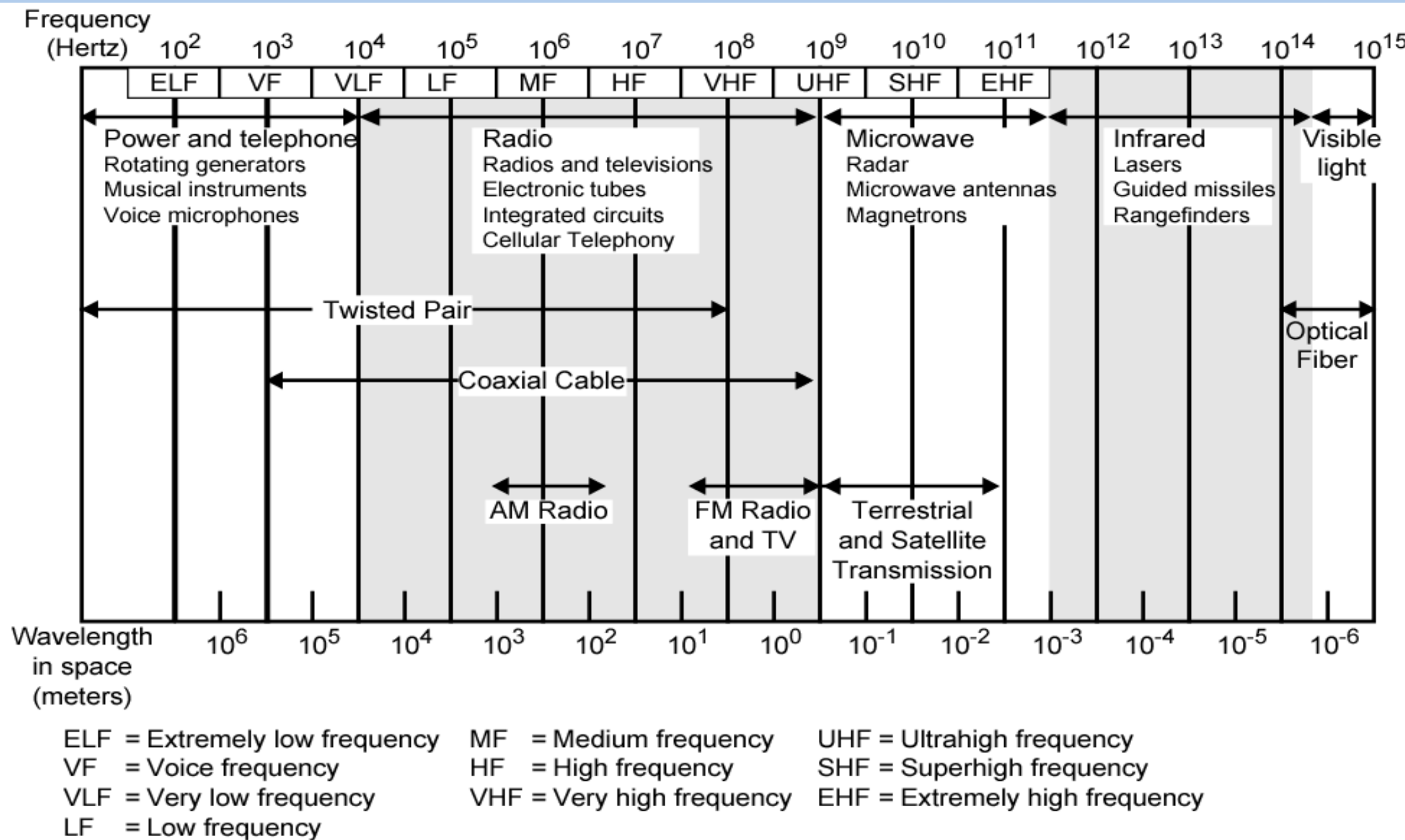
# RAL - Unidad 3

## **LA CAPA FÍSICA: MEDIOS DE TRANSMISIÓN**

# Medio de Transmisión

- Soporte material (sólido, líquido o gaseoso) por el que se puede propagar ondas de energía (**electromagnética**)
  - **guiados** – mediante cable
  - **no guiados** – sin cable
- Las características y calidad de la transmisión están determinada por el medio y la señal
- Factores a tener en cuenta:
  - a mayor ancho de banda mayor tasa de datos
  - atenuación, distorsión y ruido
  - número de receptores:
    - En los guiados, a más nodos (multipunto) más atenuación

# Espectro Electromagnético

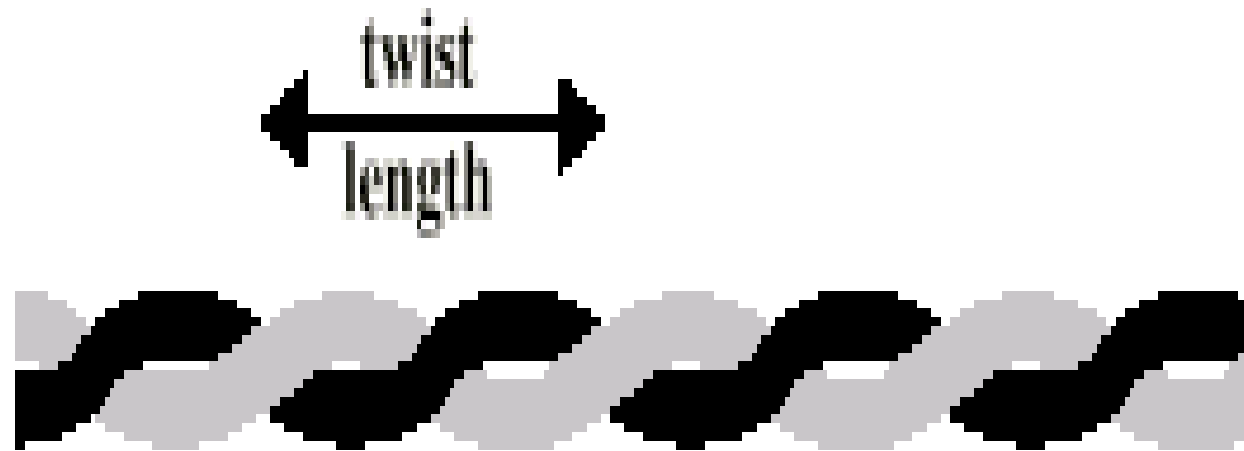


# Medios guiados: características

	Ancho de Banda	Atenuación Típica	Retraso Típico	Espacio Repetidor
Par trenzado (RTB)	0 - 3.5 kHz	0.2 dB/km @ 1 kHz	50 $\mu$ s/km	2 km
Par trenzado (multipar)	0 - 1 MHz (- 600MHz)	0.7 dB/km @ 1 kHz	5 $\mu$ s/km	2 km
Cable coaxial	0 - 1 GHz	dB/100m@MHz	4 $\mu$ s/km	1 - 9 km
Fibra óptica	186 - 370 THz	0.2-0.5 dB/km	5 $\mu$ s/km	40 km

# Par Trenzado (P. T.)

- Separately insulated
- Twisted together
- Often "bundled" into cables
- Usually installed in building during construction



(a) Twisted pair

# Par Trenzado: Aplicaciones

- Dos conductores entrelazados para cancelar:
  - interferencias electromagnéticas (IEM) de fuentes externas
  - diafonía de los cables adyacentes (acoplamiento)
- El medio más común y económico
- Red telefónica
  - entre usuario y la central local (bucle de abonado)
- Dentro de edificios
  - conexión a la centralita privada (*private branch exchange* o PBX)
- Para redes de área local (LANs)
  - 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10 Gbps (... )

# Par trenzado: Transmisión de datos

- Analógicos
  - ♦ amplificadores cada 5 km máximo
- Digitales
  - ♦ se puede usar señales analógicas (banda ancha) o digitales (banda base)
  - ♦ repetidor cada 2 km máximo
  - ♦ tasa de datos de 100Mbps a 10Gbps (y subiendo ...)
- Pros y contras:
  - ♦ cable delgado y flexible => sencillo de manejar y barato
  - ♦ una mala instalación puede aumentar enormemente las interferencias.
  - ♦ corto alcance.

# P. T. Recubierto y No R.

- Par trenzado no recubierto (*unshielded*) (**UTP**)
  - cables de teléfono ordinarios
  - más baratos, más fáciles de instalar
  - sufre de interferencias externas EM
- Par trenzado blindado (**STP**)
  - tipos: **S/UTP** (Screened/UTP o ScTP), **STP** (ShieldedTP) y **S/STP**
  - *screened*: el cable completo está blindado por una hoja metálica.
  - *shielded*: cada par está blindado por una hoja metálica.
  - la hoja metálica protectora hace de toma de tierra (o masa).
  - reduce las interferencias EM.
  - más caro, más difícil de manejar (+grueso, +pesado)



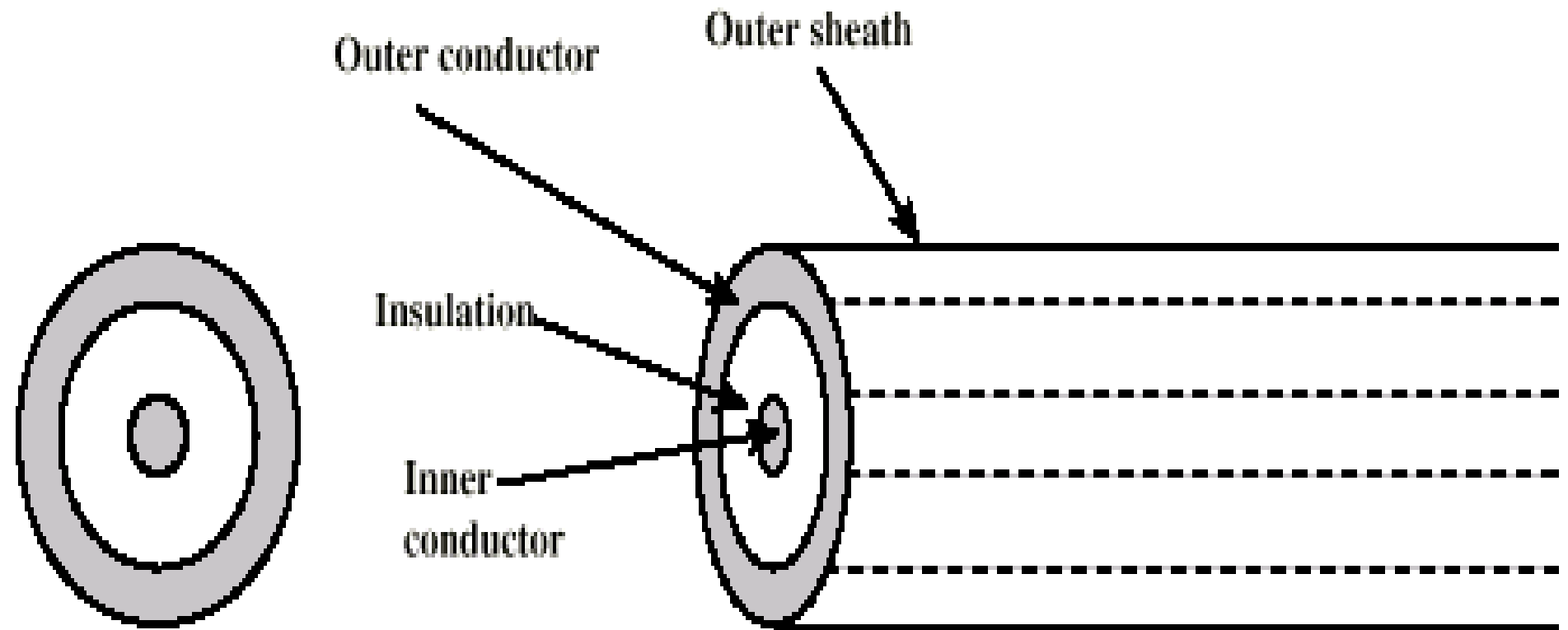
# UTP: Categorías

- Cat 3
  - hasta 16MHz
  - par de calidad telefónica de la mayoría de las oficinas
  - longitud de trenzado de 7.5 a 10 cm
- Cat 4
  - hasta 20 MHz
- Cat 5
  - hasta 100MHz
  - comúnmente preinstalado en edificios nuevos de oficinas
  - longitud de trenzado de 0.6 a 0.85 cm
  - Cat 5E (Mejorado)
- Cat 6
  - hasta 250 MHz
- Cat 7
  - hasta 650 MHz

# Pares Trenzados: Comparación

	Atenuación (dB por 100 m)			diafonía (dB)		
Frecuen. (MHz)	Cat 3 UTP	Cat 5 UTP	150-ohm STP	Cat 3 UTP	Cat 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	41	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

# Cable Coaxial (C. C.)



- Outer conductor is braided shield
- Inner conductor is solid metal
- Separated by insulating material
- Covered by padding

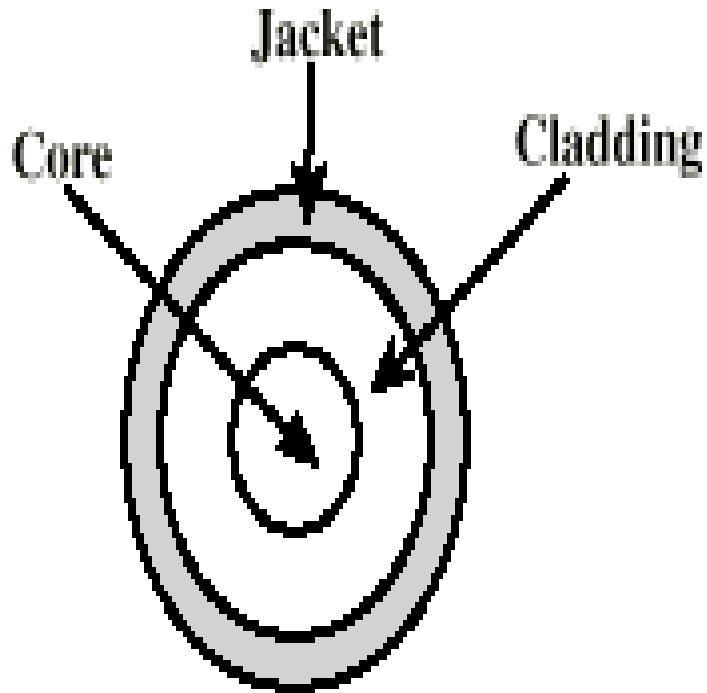
# Coaxial Cable: Aplicaciones

- **Estructura** formada por dos conductores concéntricos:
  - uno central, al que se le aplica una tensión eléctrica y por donde se transmiten los datos;
  - alrededor de este una mallla metálica que sirve como referencia (o toma) de tierra y retorno de la corriente;
  - con una capa aislante (dieléctrico) entre ambos conductores;
  - y una cubierta que protege el conjunto
- Distribución de televisión
  - de la antena a la TV
  - TV por cable
- Trasmisión de teléfono a larga distancia
  - puede llevar 10,000 llamadas de voz simultáneamente
  - está reemplazándose por fibra óptica
- Enlaces entre sistemas informáticos a cortas distancias (LANs) y redes MANs

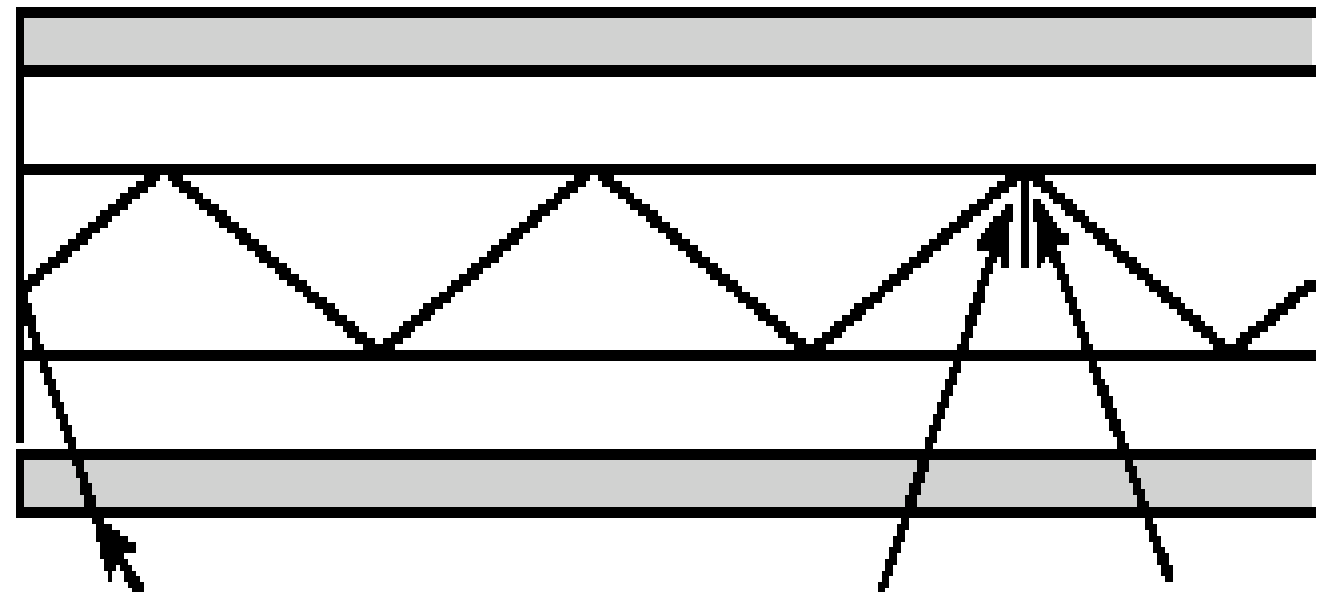
# Cable coaxial: Transmisión

- El campo EM que transporta la señal sólo existe en el espacio entre el conductor externo y el interno de un cable coaxial ideal:
  - evita la pérdida de potencia por radiación, como si fuera una antena.
  - evita interferencias de fuentes externas
- Cada tipo de cable coaxial tiene una **impedancia** (“medida de oposición a la corriente alterna”) característica dependiendo del tamaño y material usado.
  - para prevenir que reflexiones en el extremo del cable causen ondas estacionarias, cualquier dispositivo conectado al cable debe presentar una impedancia igual (o terminadores).
  - valores comunes de impedancia del cable coaxial son 50 y 75 ohms.

# Fibra Óptica (F. O.)



- Glass or plastic core
- Laser or light emitting diode
- Specially designed jacket
- Small size and weight



Light at less than  
critical angle is  
absorbed in jacket

Angle of  
incidence

Angle of  
reflection

# Fibra Óptica: Beneficios

- Es una **guía de onda** hecha de fibra de vidrio puro que conduce luz
- Compuesta de un núcleo de vidrio rodeado de un material más refractante, de forma que la luz se refleje sin escapar del núcleo (enlace: **para ver cómo se hace**)
- Mucha mayor capacidad
  - tasa de datos de cientos/miles/millones de Gbps
- Peso y tamaño mucho menores
- Atenuación mucho menor
- Aislamiento electromagnético
- Mayor separación entre repetidores
  - decenas de kilómetros, al menos
  - **instalación doméstica**
  - **instalación submarina**

# Fibra Óptica: Aplicaciones

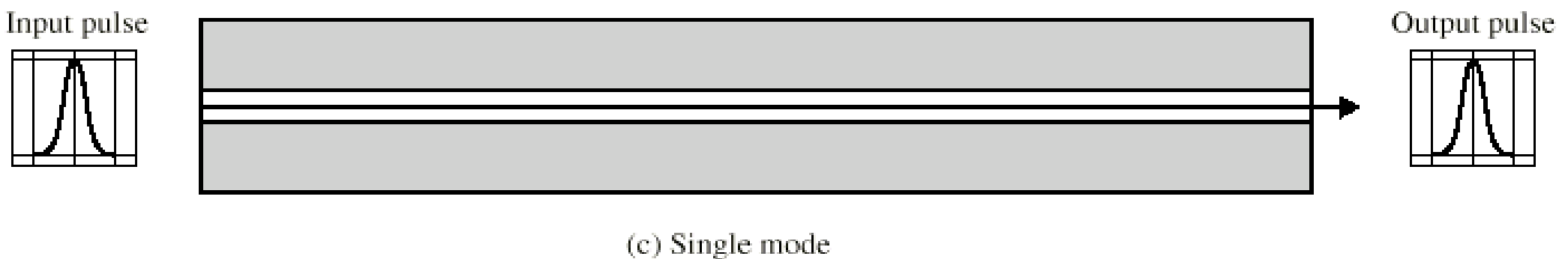
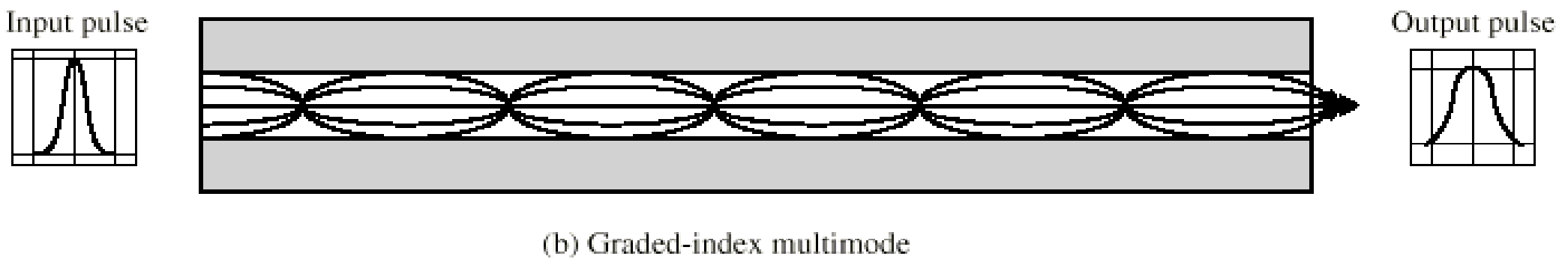
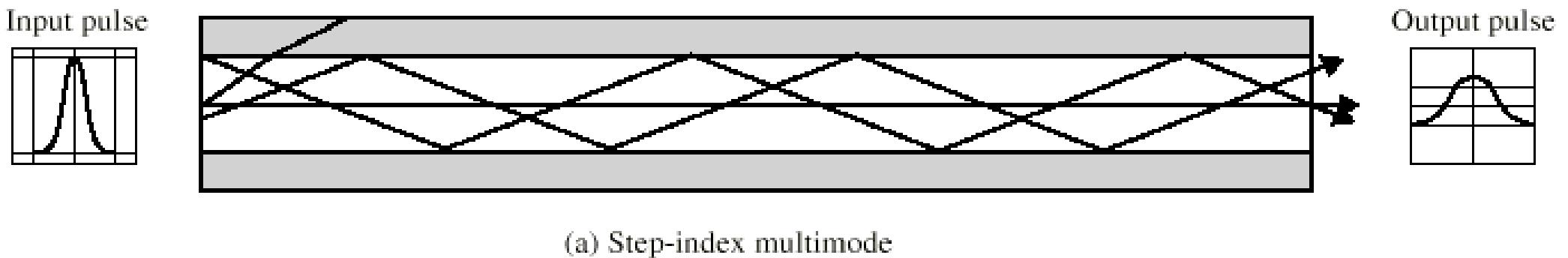
- Transmisiones de larga distancia (aprox. 1500km) y gran capacidad (20000 a 60000 canales de voz)
- Transmisiones metropolitanas (aprox. 10km) y alta capacidad (hasta 100000 canales)
- Acceso a áreas rurales a distancias de 40-160Km y con bajas necesidades (5000 canales de voz). Compite con las microondas
- Bucle de abonado (pocas, ¿todavía?)
- LANs (10/100 Gbps, ...)



# Fibra Óptica: Transmisión

- La luz se mantiene confinada en el núcleo de la fibra por **reflexión interna total**, como una guía de ondas de  $10^{14}$  a  $10^{15}$  Hz (parte del espectro infrarrojo y el visible)
- la fibra que permite que la luz se propague por:
  - múltiples caminos se llama **multimodo** (MMF), que provoca dispersión (x las distintas longitudes), y pueden tener índice de refracción entre las capas:
    - **escalonado**, con mayor dispersión
    - **gradual**, con menor dispersión
  - único camino, paralelo a la fibra, o **monomodo** (SMF)
- Fuentes de luz:
  - **diodos emisores de luz (LED)**: emite luz incoherente, no láser, a mayores temperaturas y es más barato, duradero
  - **diodos (de inyección) láser (ILD)**: emite luz coherente, láser, es más eficiente y ofrece mayor tasa de datos

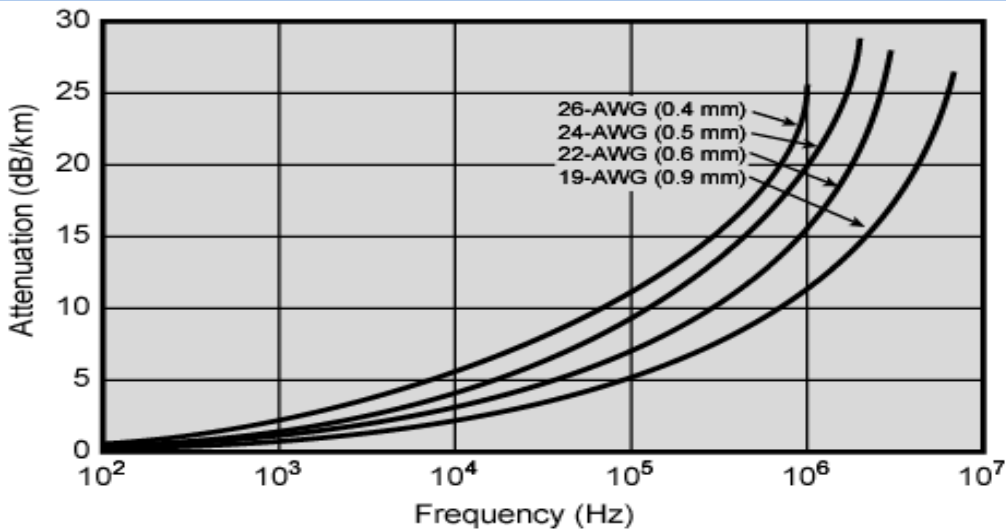
# Fibra Óptica: Modos



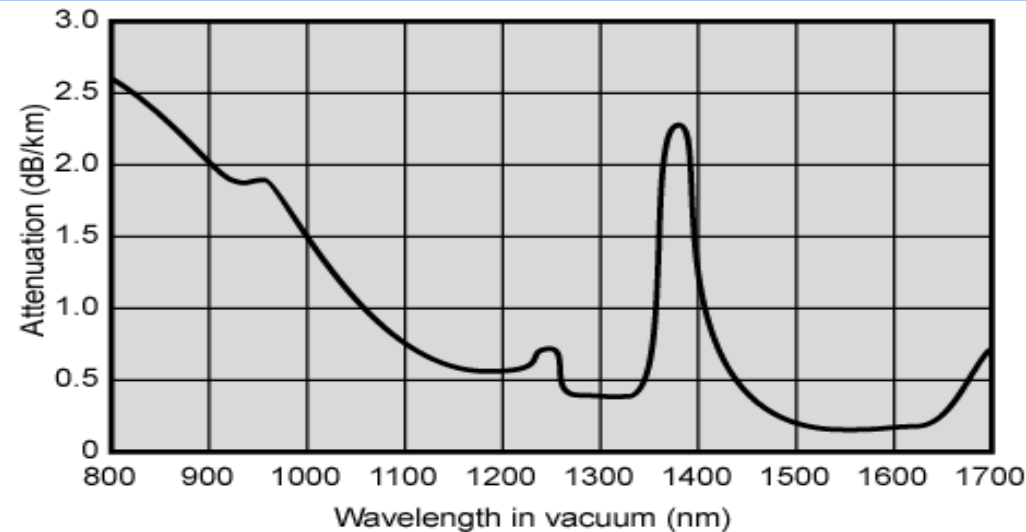
# F. O. : Uso de frecuencias

Longitudes de onda (en vacío) (nm)	rango de frecuencia (THz)	Etiqueta de la banda	Tipo de Fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 333		Multimodo	LAN
1280 a 1350	234 a 222	S	Monomodo	Varios
1528 a 1561	196 a 192	C	Monomodo	WDM
1561 a 1620	185 a 192	L	Monomodo	WDM

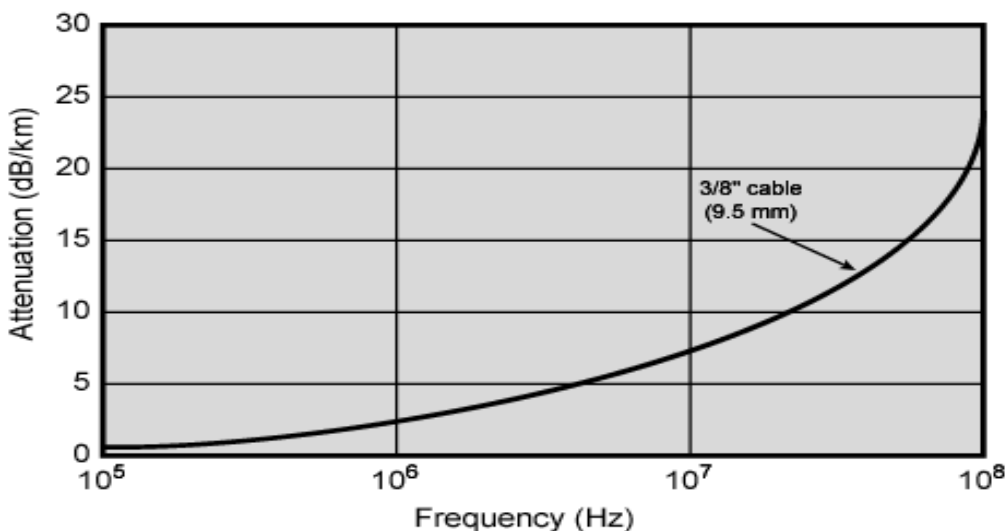
# Atenuación en medios guiados



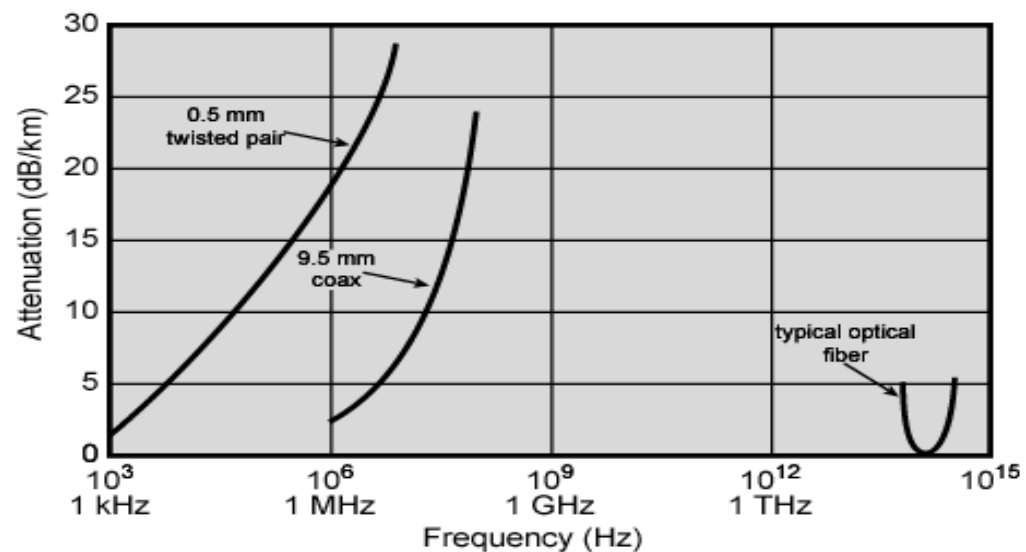
(a) Twisted pair (based on [REEV95])



(c) Optical fiber (based on [FREE02])



(b) Coaxial cable (based on [BELL90])



(d) Composite graph

# Medios no guiados: frecuencias

- **30MHz a 1GHz - Radio**
  - ♦ omnidireccional
  - ♦ se utilizan p. e. para las emisiones de radio y televisión
- **1GHz a 300GHz – Microondas (Rusas)**
  - ♦ muy direccional
  - ♦ se utilizan p. e. para conexiones punto a punto y en comunicaciones vía satélite
- **300GHz a 700THz - Infrarrojo y Visible**
  - ♦ altamente direccional
  - ♦ se utilizan para conexiones punto a punto en L.O.S. y en redes PAN

# Antenas

- Conductor eléctrico (o un conjunto de ellos) usado para radiar o captar energía electromagnética
- En la transmisión, las señales eléctricas de unas determinadas frecuencias provenientes del transmisor se convierte en la antena en energía electromagnética con las mismas frecuencias radiadas al entorno
- En la recepción, la señales electromagnéticas de unas determinadas frecuencias capturadas por la antena se convierten en energía eléctrica que se le suministra al receptor
- En las comunicaciones bidireccionales(*full duplex*) la misma antena se suele usar para transmitir y para recibir en distintas frecuencias (canales)
  - sin embargo, hoy en día se usan cada vez más las **antenas MIMO** o **múltiples antenas para transmitir y recibir**

# Patrón de radiación

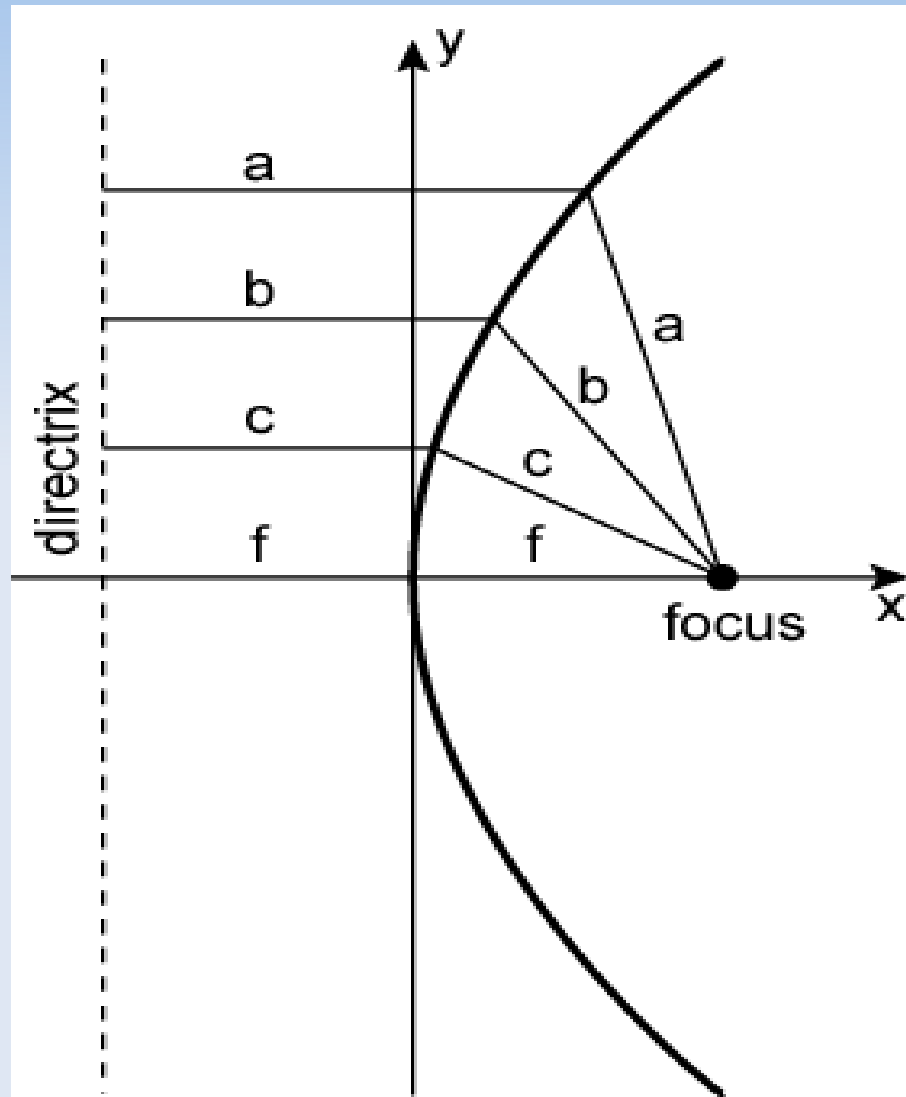
- Las antenas radian en todas direcciones, aunque, según el tipo, no con la misma potencia en todas ellas
- El **diagrama de radiación** es la representación gráfica de las características de radiación de una antena en función de la dirección
- Una **antena isotrópica** (por igual en cualquier lugar) es una antena ideal que representa un punto en el espacio que radia con igual potencia en todas las direcciones, es decir, omnidireccional o con un patrón de radiación esférico
- La antena isotrópica sirve de referencia para medir el patrón de radiación de las antenas reales
- **Tipos de antenas**

# La antena parabólica

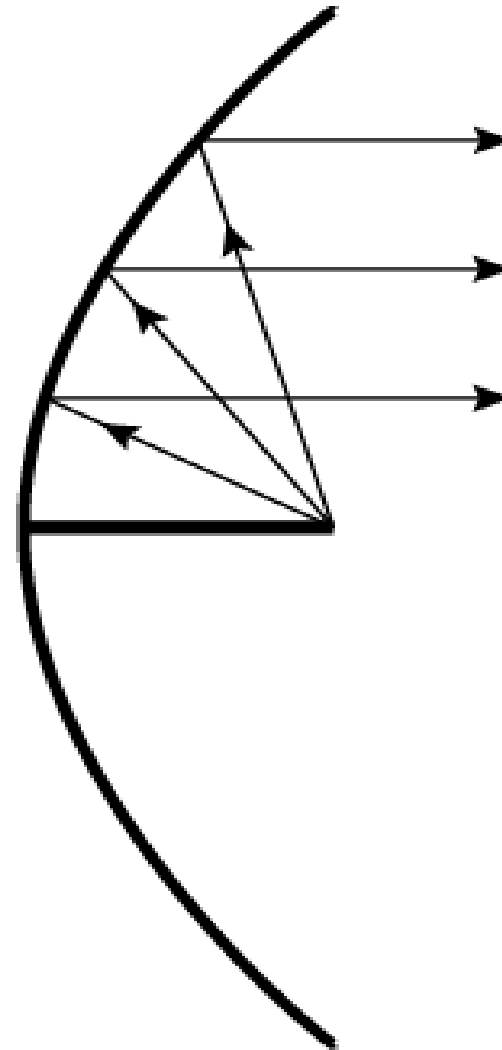
- Usada para las **microondas** terrestres y de satélites
- Una **parábola** es el lugar de todos los puntos equidistantes de una línea recta dada y de un punto fijo (foco) no perteneciente a esta línea (generatriz)
- La **fuelle** situada en el foco producirá ondas que se reflejan desde la parábola en paralelo al eje
  - crea un haz paralelo de luz/sonido/radio, que sólo en teoría no sufrirá dispersión
- Como **receptor**, la señal se concentra en el foco, donde se sitúa el detector



# La antena parabólica: diagrama



(a) Parabola



(b) Cross-section of parabolic antenna showing reflective property

# Ganancia de una antena

- Medida de la direccionalidad de la antena
- Compara la potencia de salida en la dirección privilegiada con la que radiaría una antena isotrópica en esa misma dirección:
  - ♦ se mide en decibelios respecto a una isotrópica (dBi)
- El incremento de potencia en una dirección dada se consigue a expensas de la potencia en las otras direcciones

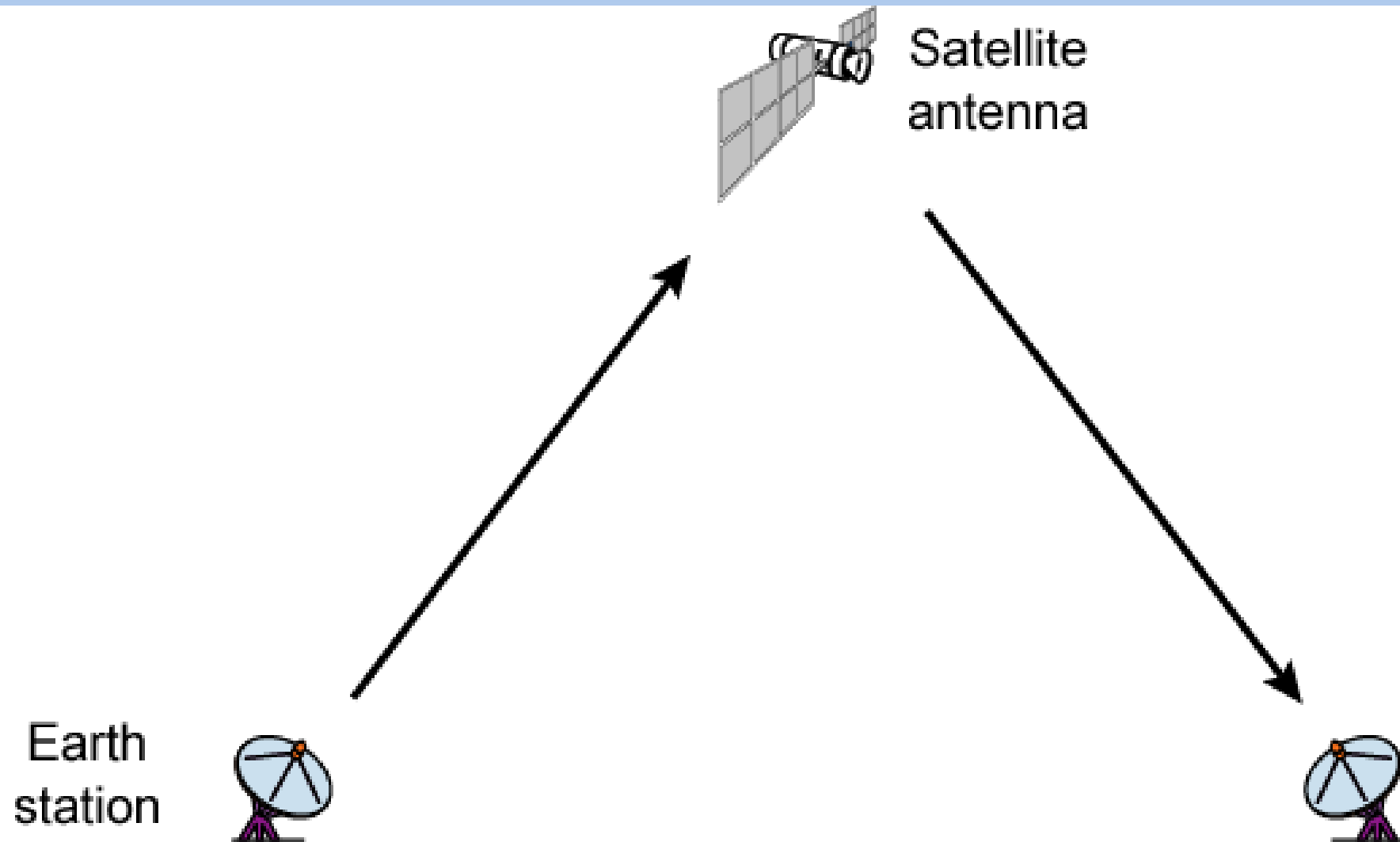
# Microondas terrestres

- Antena parabólica rígidamente fijada, para que los haces estén perfectamente enfocados
- Deben estar en la trayectoria visual de la otra antena
- Telecomunicaciones de larga distancia
- Más altas frecuencias dan más altas tasas de datos

# Satélites - Microondas

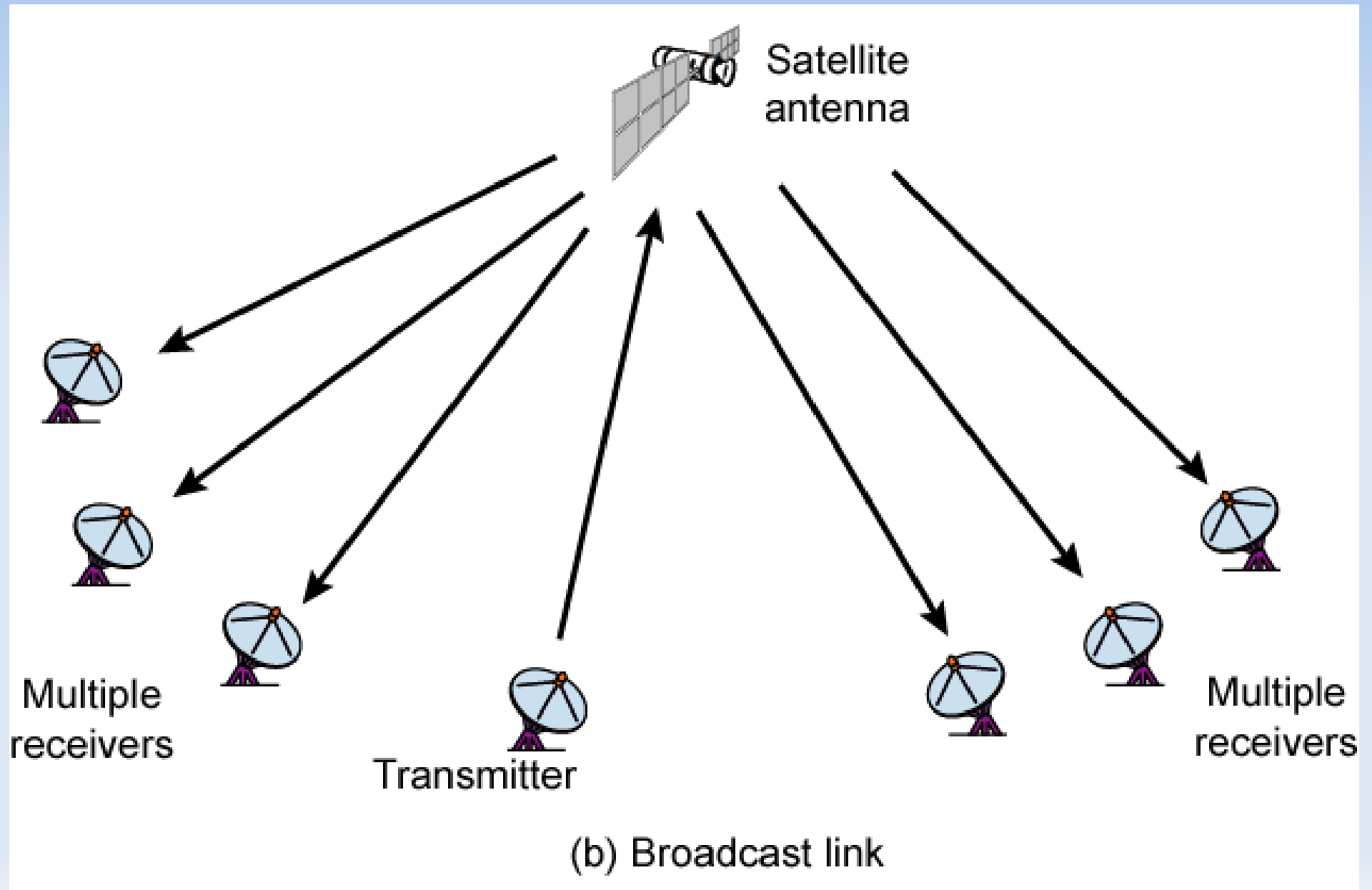
- El satélite es estación de retransmisión que recibe en una frecuencia, amplifica o repite la señal y transmite en otra frecuencia
- Para comunicaciones fijas se requiere una órbita geoestacionaria:
  - altura de 35.784km
- Televisión, teléfono, redes privadas
- Rango óptimo 1-10GHz (4/6GHz), aunque está saturado.
- Se está desplazando a 12/14GHz e incluso 20/30GHz.
  - rangos con más atenuación, pero antenas menores y más baratas

# Satélite - Enlace punto a punto



(a) Point-to-point link

# Satélite - Enlace de difusión



# Radio - difusión

- Rango de 30MHz a 1GHz, con un patrón de radiación bastante omnidireccional, en comparación con la mayor direccionalidad de las microondas
- Radio FM, Televisión UHF y VHF
- Las antenas no necesitan estar en el mismo campo visual ('*verse*')
- Sufre de interferencias provocadas por las reflexión de las ondas en los distintos objetos que se interponen en su trayecto

# Infrarrojos

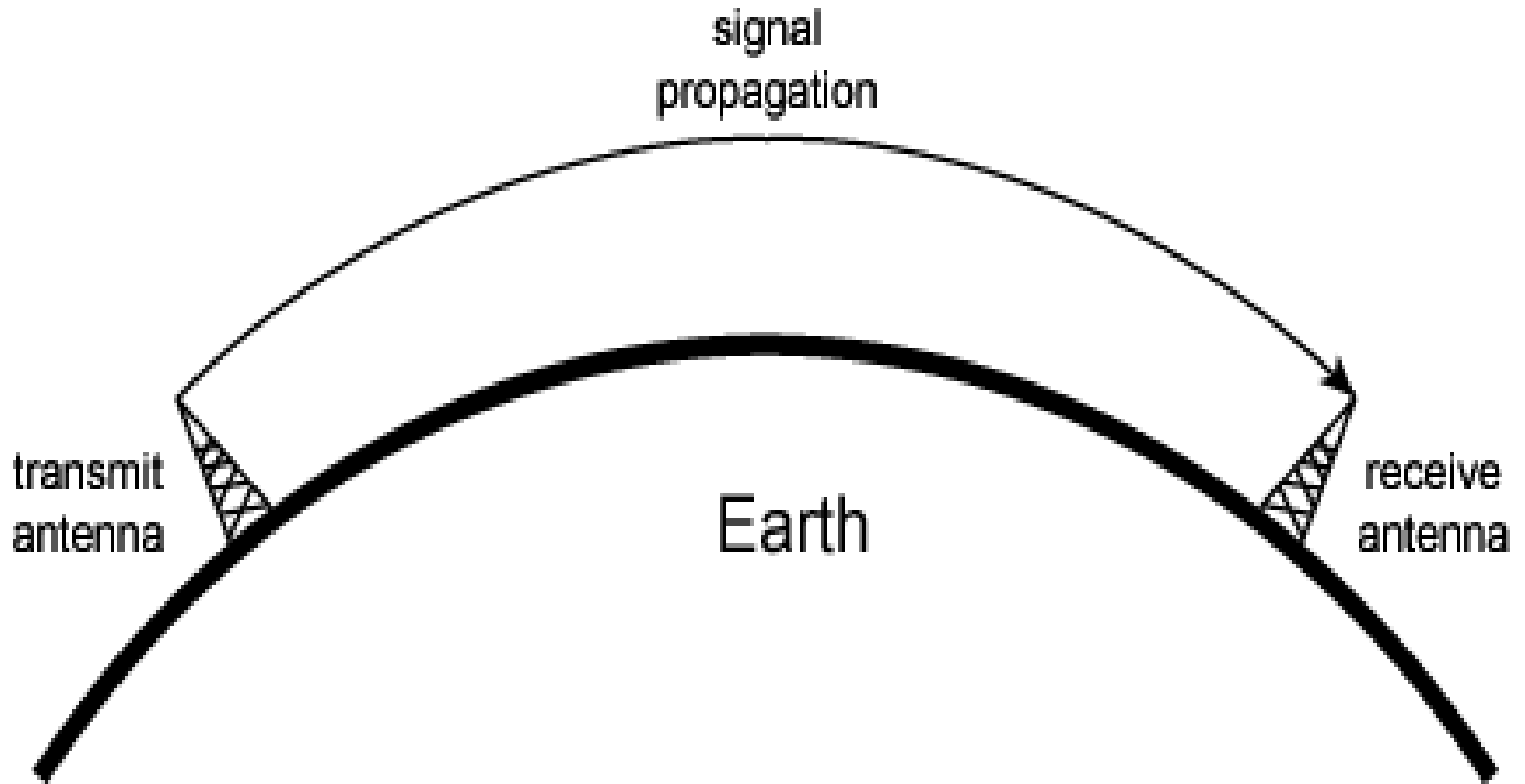
- Transmisores/receptores que modulan luz infrarroja no coherente
- Transmisor y receptor deben estar en la misma línea de visión (o reflexión)
- Bloqueados por las paredes, a diferencia de las microondas. Por lo que hay menos problemas de seguridad, de interferencias o de asignación de frecuencias
- P.e. control remoto de TV, puertos IRDA



# Propagación inalámbrica

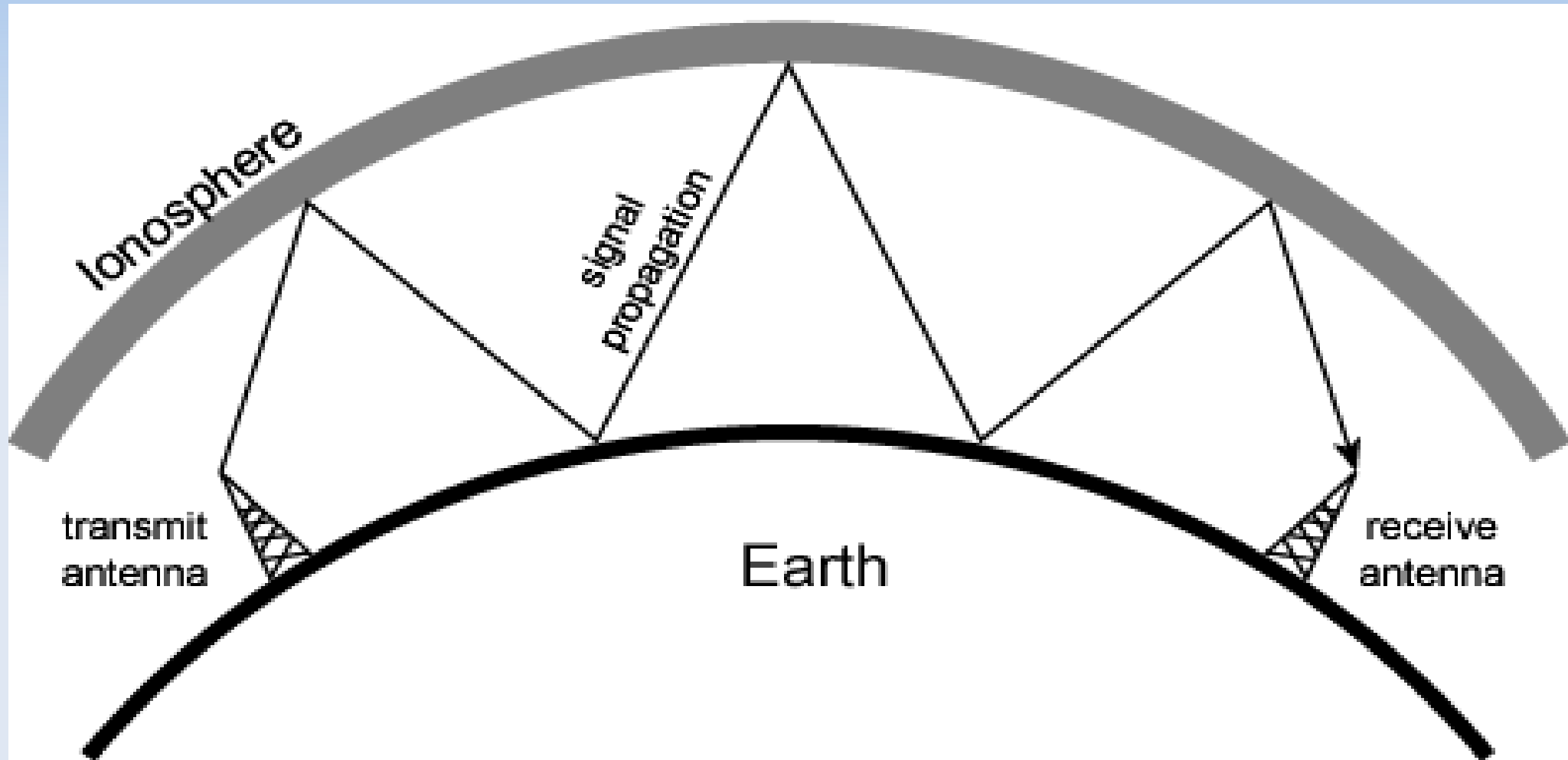
- Propagación superficial [ $< 2\text{MHz}$ ]
  - sigue el contorno de la tierra
  - radio AM
- Propagación aérea
  - radioaficionados, emisiones internacionales de radio (REE)
  - señal reflejada por la ionosfera (capa superior atmósfera)(En realidad es refractada)
- Propagación en la trayectoria visual [ $>30\text{MHz}$ ]
  - puede estar más allá de la línea de visión (Line Of Sight, LOS) óptica debido a la refracción

# Propagación superficial



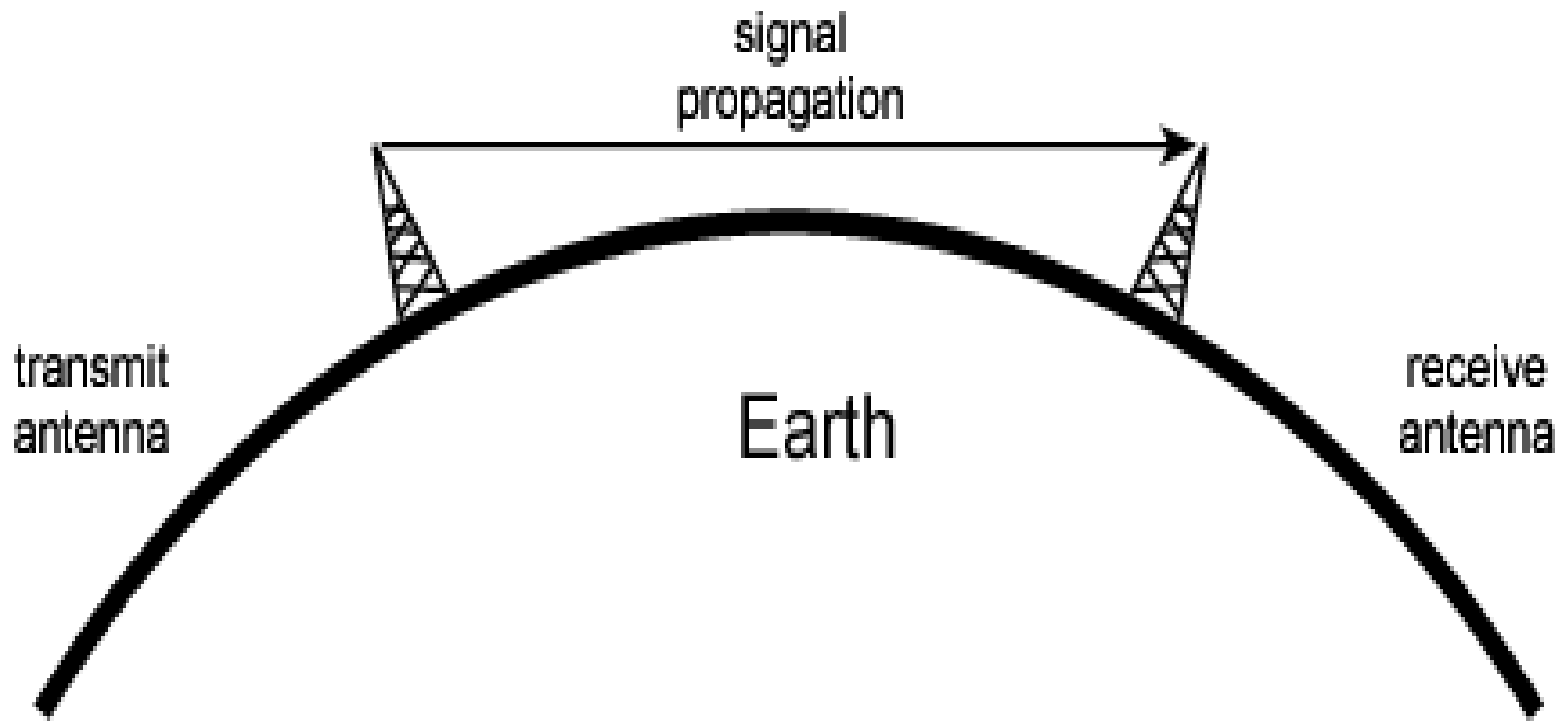
(a) Ground-wave propagation (below 2 MHz)

# Propagación aérea



(b) Sky-wave propagation (2 to 30 MHz)

# Propagación en la visual (LOS)



(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)

# Transmisión LOS

- Dispersión en el espacio libre
  - la señal se dispersa con la distancia
  - mayor para frecuencias menores
- Absorción atmosférica
  - vapor de agua y oxígeno absorben las señales de radio
  - agua más en los 22GHz, menos debajo de 15GHz
  - oxígeno más en los 60GHz, menos debajo de 30GHz
  - lluvia y niebla dispersan las ondas de radio
- Multicamino
  - mejor mantenerlos en línea visual, si es posible
  - la señal puede reflejarse llegando múltiples copias al receptor
  - puede no recibirse ninguna señal directa
  - puede reforzar o cancelar la señal directa
- Refracción
  - pérdidas de señal por cambios en la densidad del aire