

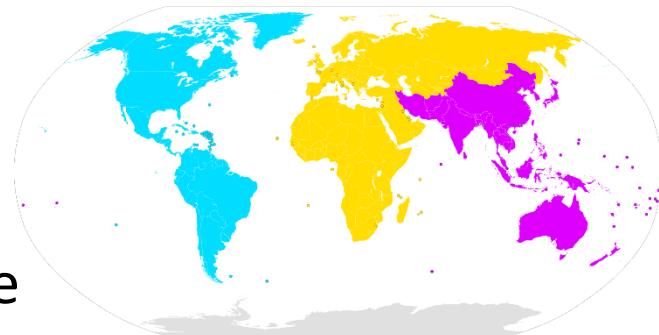
# Medios de transmisión: No Guiados

Microondas

Ing. Gabriel Filippa  
Ing. Joaquín Nepotti

# Espectro radioeléctrico: regulación

- Bandas con licencias y sin licencias
  - Banda ISM (Industrial, Scientific, Medical)
- A nivel mundial, está regulado por la ITU-R, decide quién puede emitir en cada banda de frecuencias y bajo qué condiciones.
- 3 regiones
  - Europa - Medio oriente – África
  - América
  - Asia y Oceanía
- Cada región tiene una regulación diferente



# Transmisión inalámbrica

- **1GHz - 40GHz**
  - Microondas
  - Altamente direccional
  - Enlaces PP
  - Satélites
- **30MHz - 1GHz**
  - Omnidireccional
  - Broadcasting de radio
- **$3 \times 10^{11} - 2 \times 10^{14}$** 
  - Infrarrojos
  - Formato Local

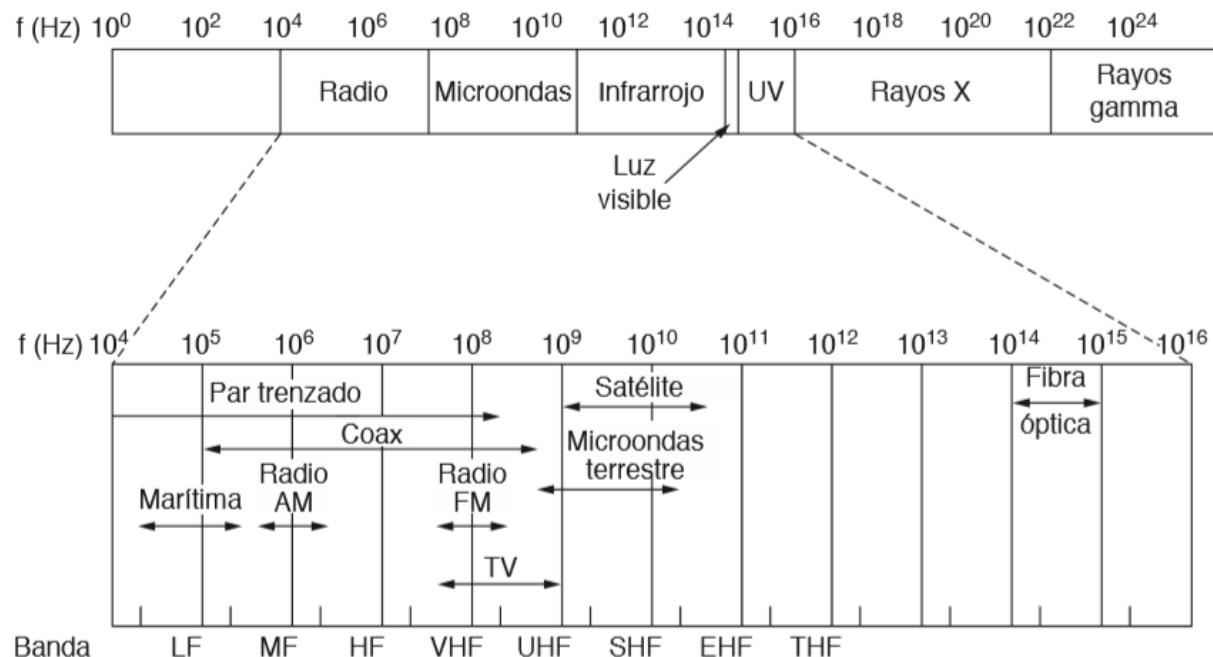


Figura 2-10. El espectro electromagnético y sus usos para comunicaciones.

# Antenas

- Es un conductor eléctrico usado para irradiar o captar energía electromagnética
- Transmisión de la señal
  - La energía eléctrica se convierte a energía electromagnética
  - La conversión se realiza en la antena.
  - La energía se irradia al entorno que envuelve a la antena.
- Recepción de la señal
  - La energía electromagnética se convierte a energía eléctrica.
  - Esta conversión se realiza en la antena.
  - La energía eléctrica se pasa al receptor.
- La misma antena es a menudo usada en ambos sentidos.

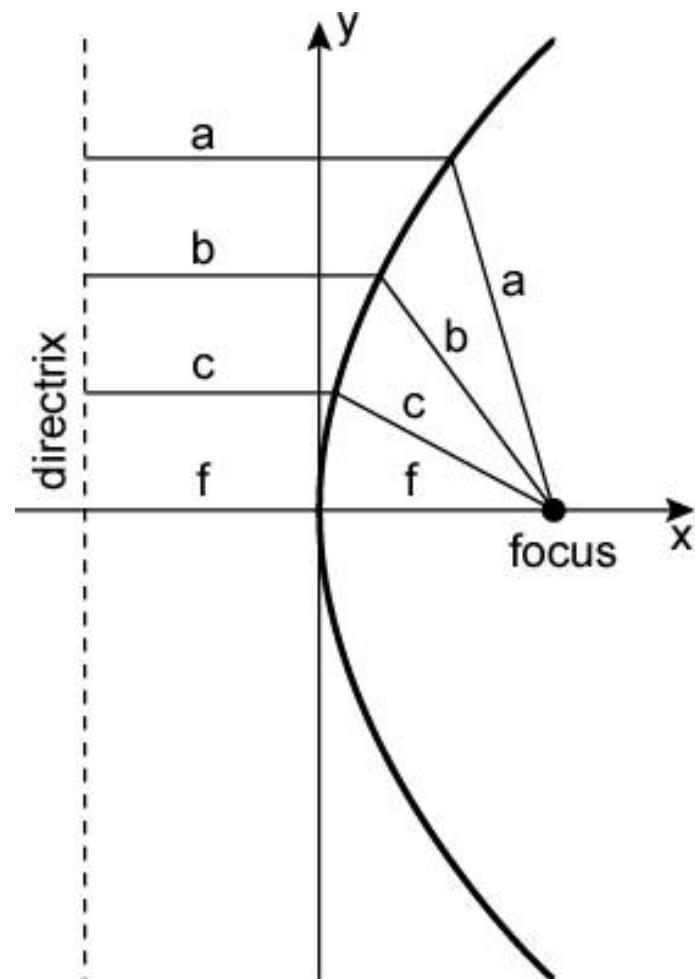
# Patrón de Radiación

- La potencia radiada es en todas las direcciones
- No es la misma performance en todas las direcciones
- Las antenas isotrópicas (teóricamente) son un punto en el espacio.
  - Irradian energía en todas las direcciones igualmente.
  - El diagrama de radiación es una esfera.

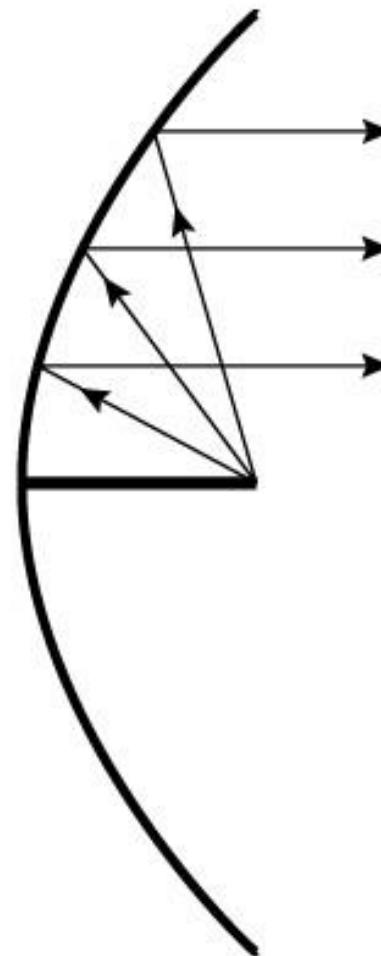
# La antena parabólica de reflexión

- Microondas terrestres y satelitales.
- Parábola es el lugar geométrico de todos los puntos que equidistan de una recta dada y de un punto fijo que no pertenecen a la recta.
  - El punto fijo es el foco
  - La línea se llama generatriz.
- Si la parábola se hace girar entorno a su eje se genera una superficie denominada parabolóide.
- Se utilizan en faros, telescopios ópticos y radiotelescopios, así como en antenas de microondas
- Cualquier fuente de energía electromagnética situada en su foco seguirán trayectorias paralelas al eje de la parábola.
- Teóricamente, este efecto consigue un haz paralelo sin dispersión alguna
- En el receptor, si las ondas recibidas son paralelas al eje de la parábola reflectante, la señal resultante estará concentrada en el foco.

# Antena parábolica de reflexión



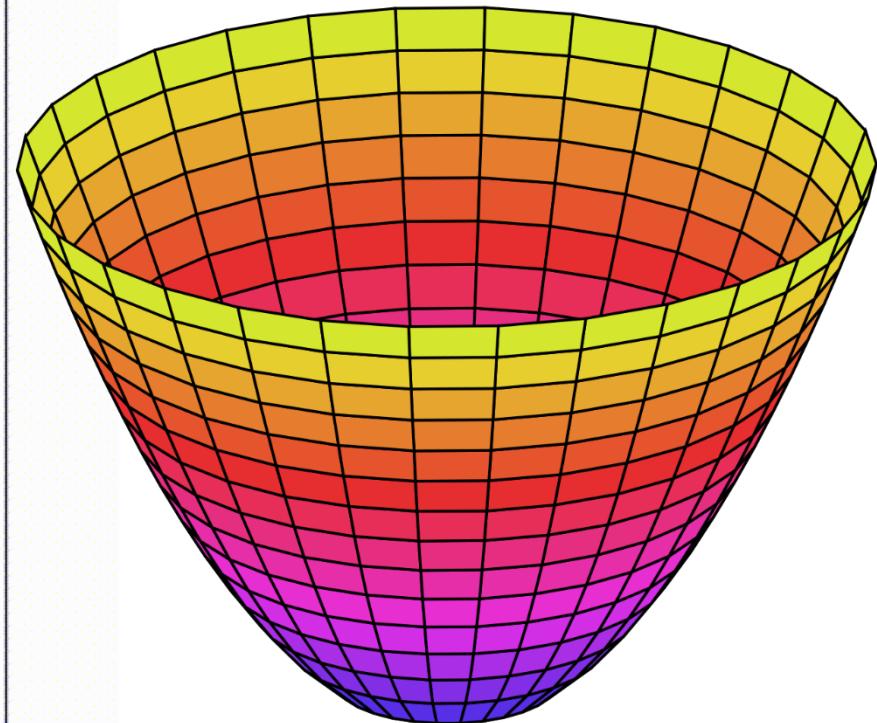
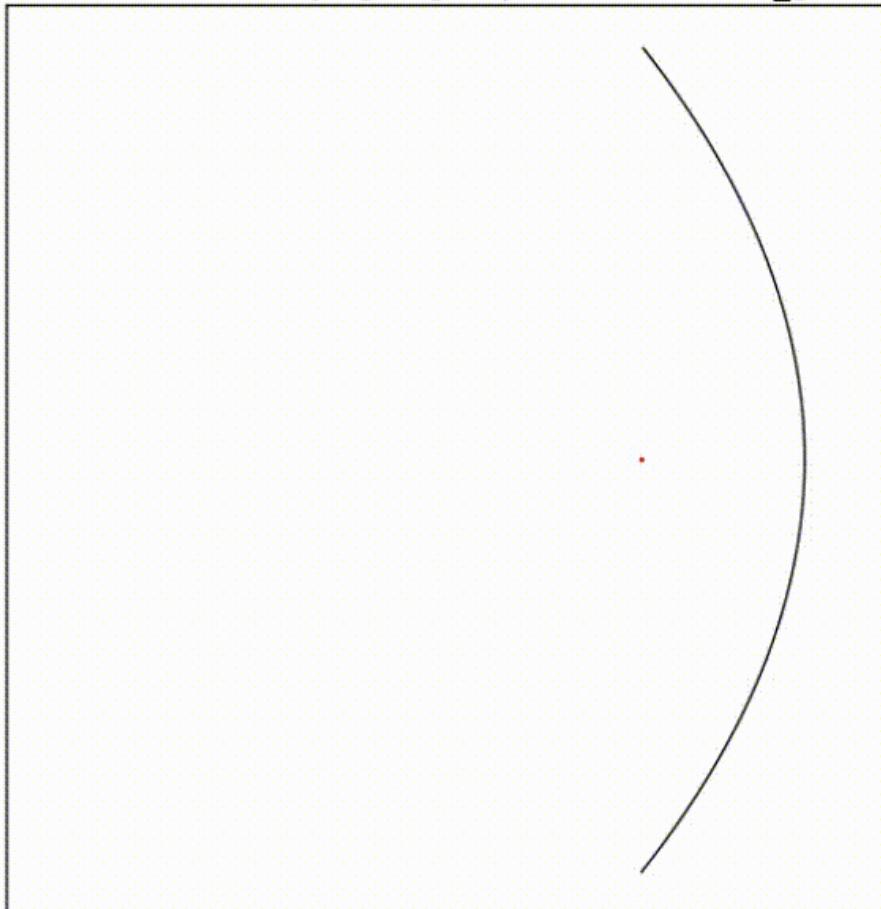
(a) Parabola



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

# La antena parabólica de reflexión

Reflection of rays going to parabola,@math\_gif



# Ganancia de una antena

- Medida de su direccionalidad
- Dada una dirección, se define la ganancia de una antena como la potencia de salida, en esa dirección, comparada con la potencia transmitida en cualquier dirección por una antena omnidireccional.
- Se mide en decibeles (dB)
- El incremento de potencia radiada es consecuencia de la perdida de potencia en otra dirección.
- El área efectiva de una antena está relacionada con su tamaño físico y con su geometría y ella con la ganancia.

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad G = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

# Microondas terrestres

- La antena mas común es la de plato.
- Aplicaciones:
  - Servicios de telecomunicaciones en reemplazo de cable coaxil o Fibra.
  - Enlaces punto a punto entre edificios de corta distancia.
- Características de transmisión
  - Rango de operación: 1 y 40 Ghz
  - Mayor frecuencia implica mayor ancho de banda.



# Microondas terrestres

Banda (GHZ)	Ancho de Banda (Mhz)	Velocidad de transmisión Mbps
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274

- La principal causa de pérdida es la atenuación
- La pérdida la expresamos con

$$L = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 dB$$

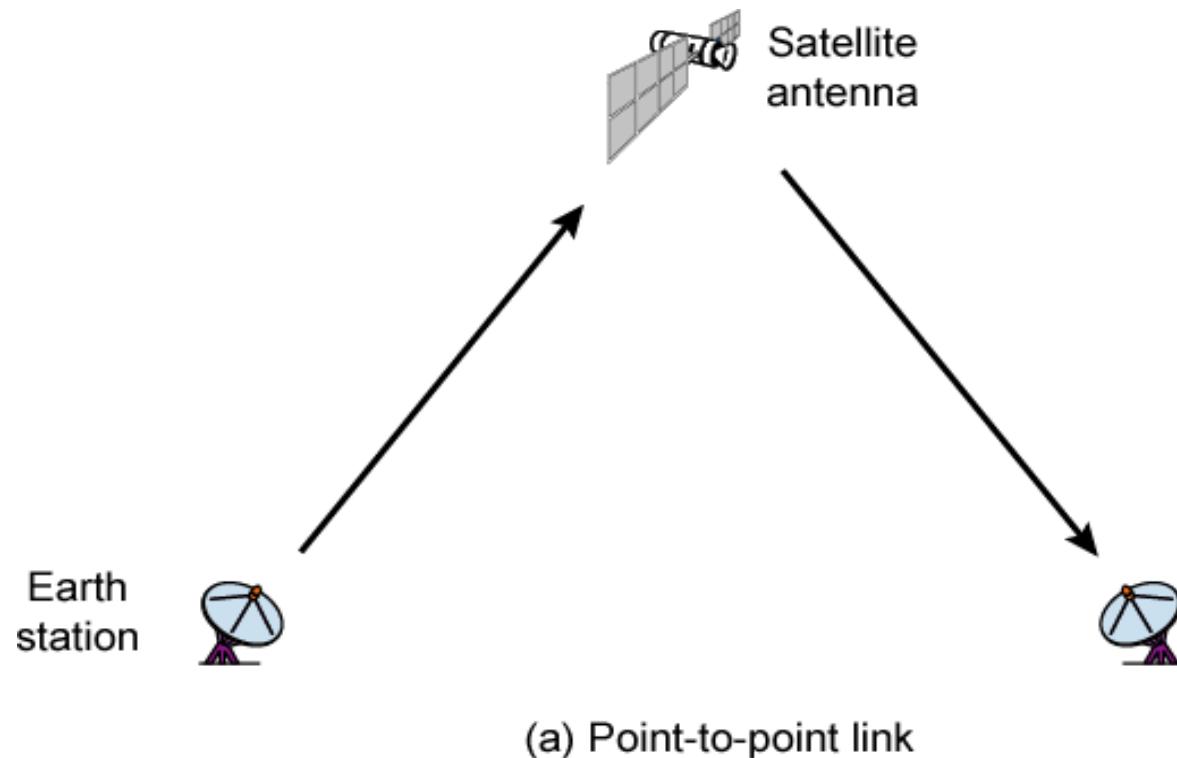
- d es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda
- La atenuación varia con el cuadrado de la distancia

# Microondas por satélite

- Es una estación que retransmite microondas.
- El satélite recibe en una frecuencia, amplifica o repite la señal y transmite en otra frecuencia.
- Requiere de órbitas geoestacionarias.
  - Altura 35,863km sobre el Ecuador.
- Aplicaciones
  - Televisión
  - Teléfono a grandes distancias.
  - Redes privadas de computadoras.

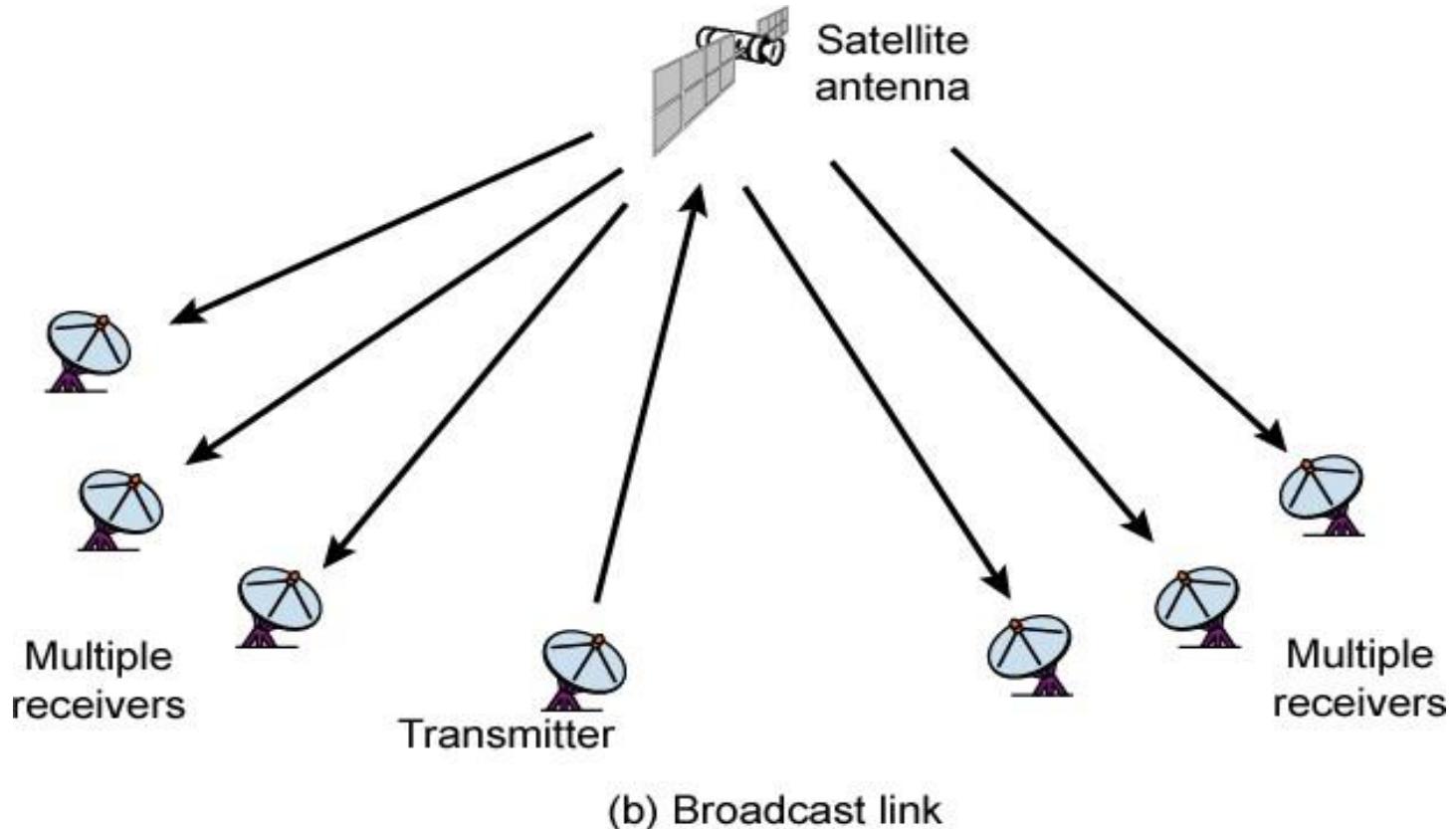
# Enlace punto a punto satelital

Consiste en un enlace punto a punto entre dos antenas terrestres alejadas entre sí.



# Enlace de broadcast satelital

Conectar una estación base transmisora con un conjunto de receptores terrestres.



# Características de transmisión

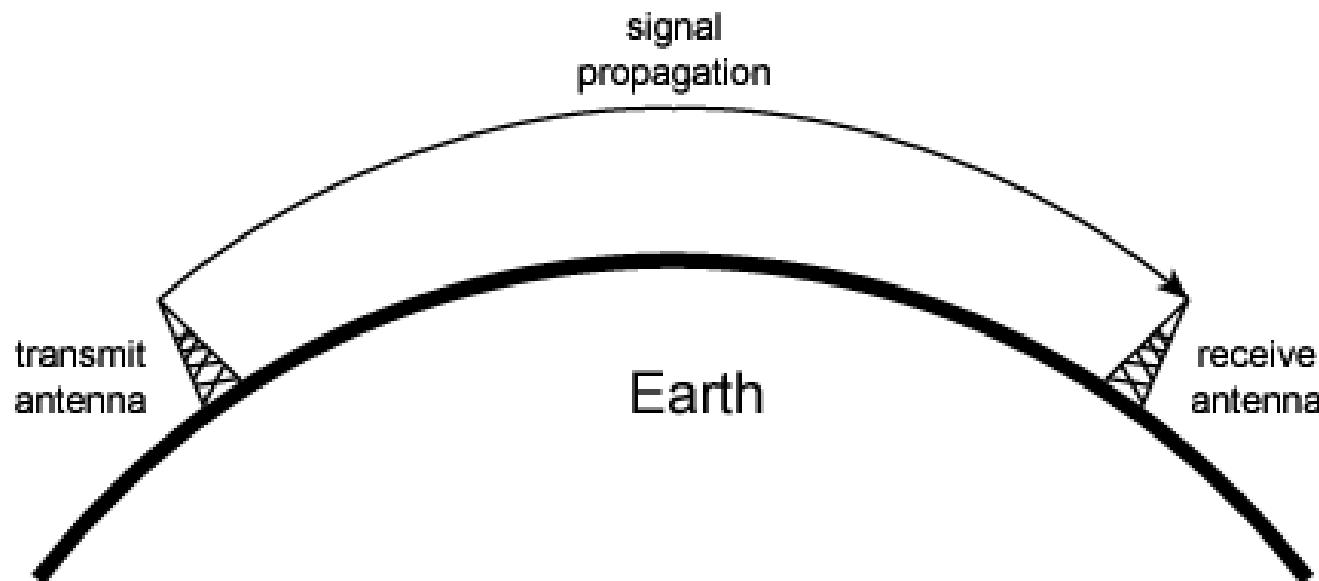
- Rango de operación óptimo de 1 a 10 Ghz.  
Arriba de 10 Ghz existe mucha atenuación
- Rango muy usado: 5.925 y 6.424 Ghz canal ascendente y 3.7 y 4.2 Ghz canal descendente.  
Banda 4/6 Ghz
- Retardo propagación: 0,25 s
- Control de errores y flujo en la transmisión

# Propagación inalámbrica

- La señal puede viajar por tres caminos
  - Ondas superficial: sigue el contorno de la superficie terrestre.
  - Ondas aéreas
    - Radios amateur.
    - La señal se refleja en la ionosfera
  - Línea de vista (LOS)
    - Arriba de los 30 Mhz
    - El radio horizonte afecta la transmisión.

# Ground Wave Propagation

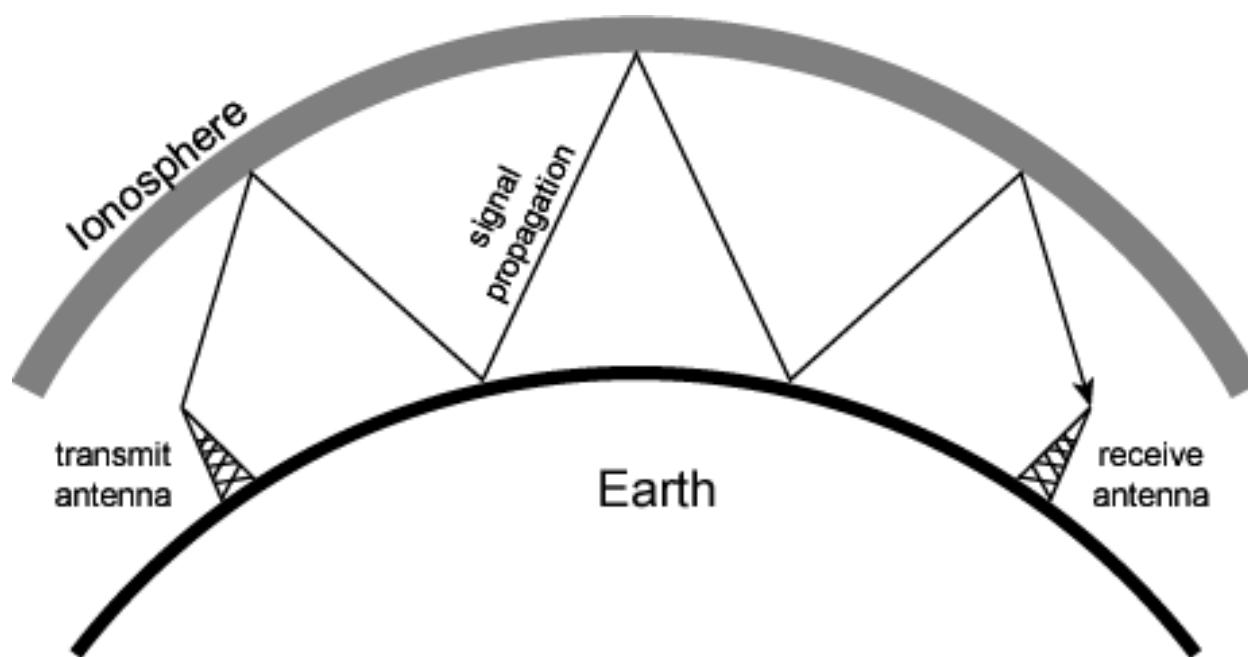
- Señal sigue el contorno de la superficie terrestre.
- Frecuencias de hasta 2 MHz
- Ejemplo radio AM



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

# Sky Wave Propagation

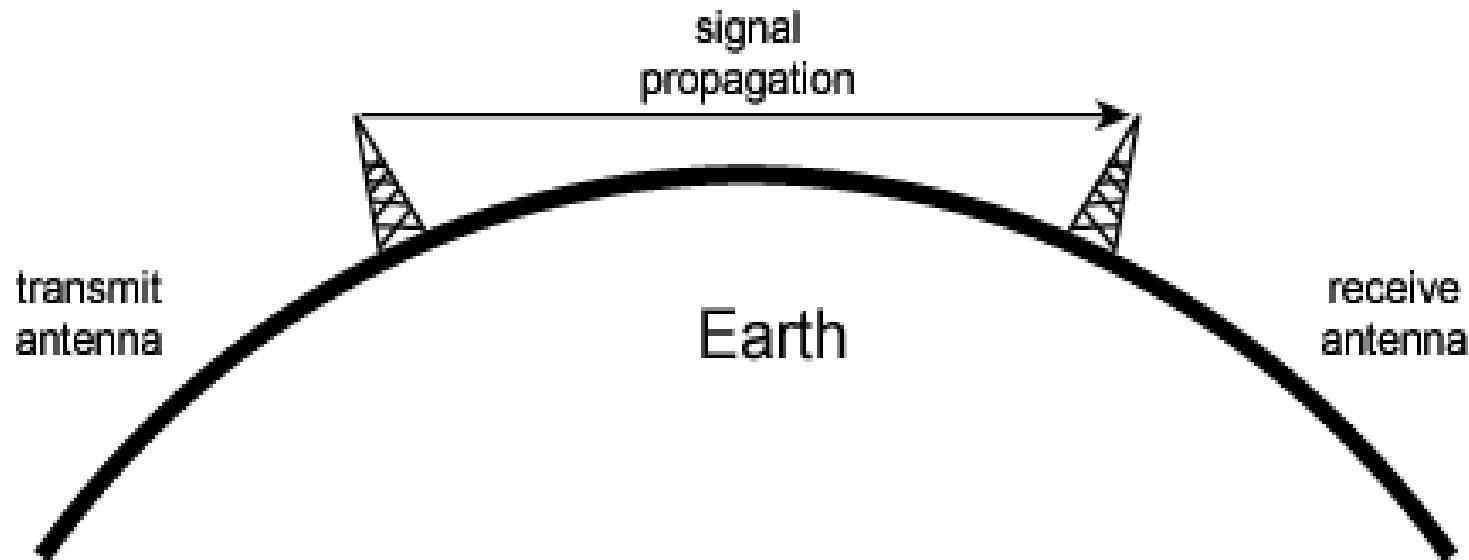
- Señal proveniente de la antena terrestre se refleja Ionósfera, volviendo así hacia la tierra
- Frecuencias 2 – 30 Mhz
- Utilizada por radioaficionados



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

# Line of Sight Propagation

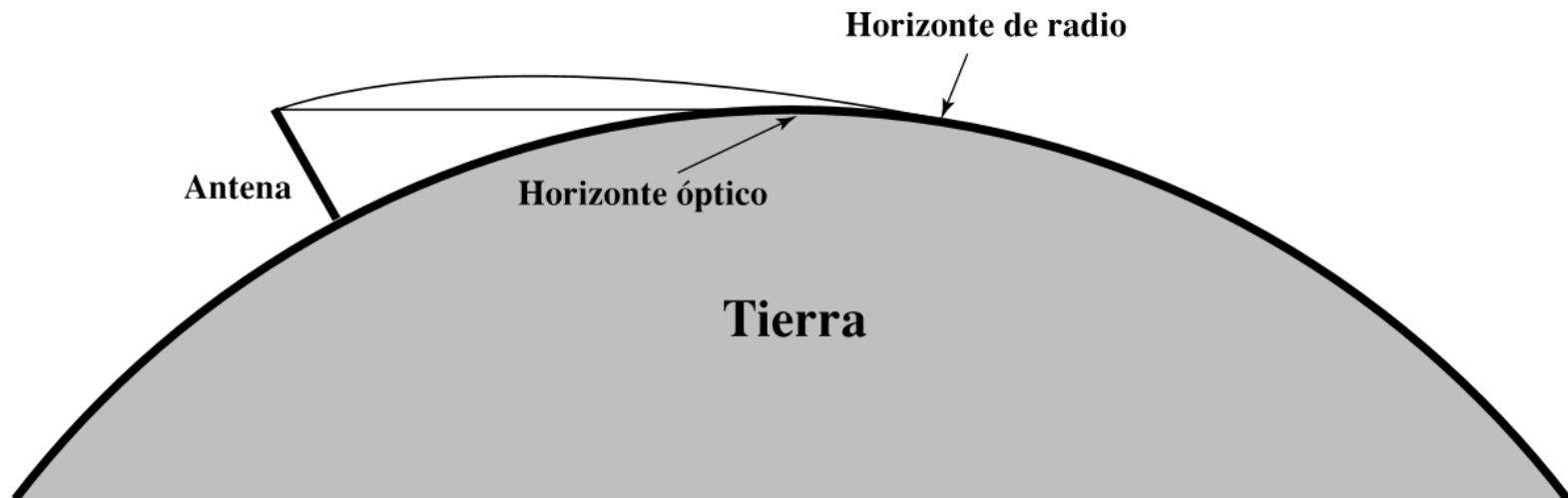
- Frecuencias > 30 Mhz
- Transmisión siguiendo la línea de visión
- Antenas alineadas según trayectoria visual  
efectiva



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

# Horizonte óptico y de radio

- Limitado por la curvatura de la tierra.
- La curvatura de la Tierra presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, que se suele llamar el horizonte de radio.
- A causa de la refracción atmosférica, el horizonte de radio está más allá del horizonte óptico para la atmósfera estándar común.
- El horizonte de radio está, más o menos, a cuatro tercios del horizonte óptico.

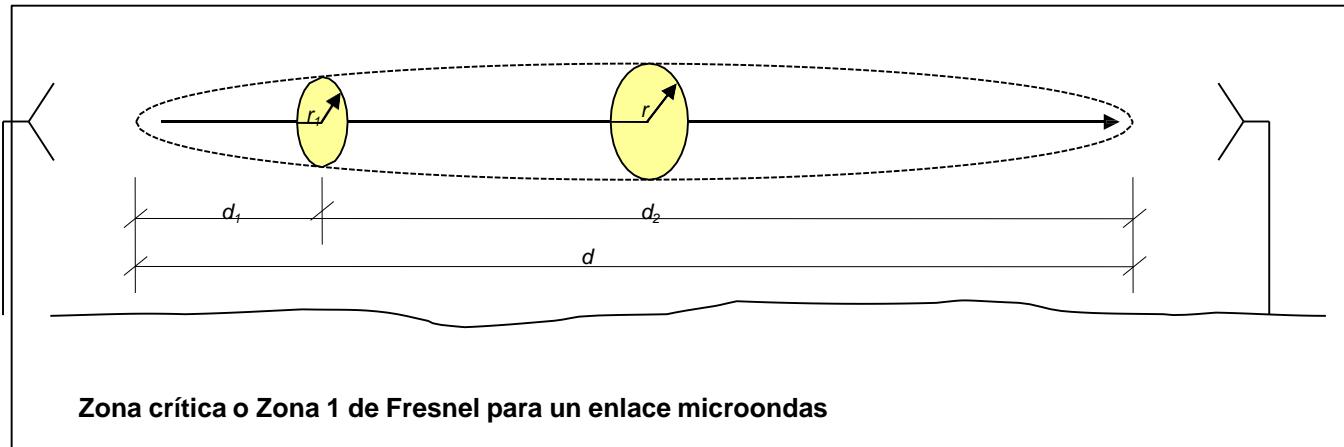


**Figura 4.9.** Horizonte óptico y de radio.

# Transmisión por línea de vista

- Si no hay obstáculos, la línea de visión óptica se puede expresar cómo:
  - $d = 3,57\sqrt{h}$
  - d es la distancia entre la antena y el radio horizonte en kilómetros y h es la altura en metros.
- La línea efectiva se expresa:
  - $d = 3,57\sqrt{Kh}$
  - Donde K es un factor de ajuste que tiene en cuenta la difracción.
- El enlace completo se expresa:
  - $d = 3,57\sqrt{Kh_1} + 3,57\sqrt{Kh_2}$
  - $h_1$  y  $h_2$  son las alturas de las torres.

# Zona de Fresnel



- Cuando se diseña un enlace, no es suficiente tener visión
- Radio despejado alrededor de la línea de vista

**Elipsoide de revolución**

**Eje mayor = Eje del Haz**

**Eje menor en la mitad del vano**

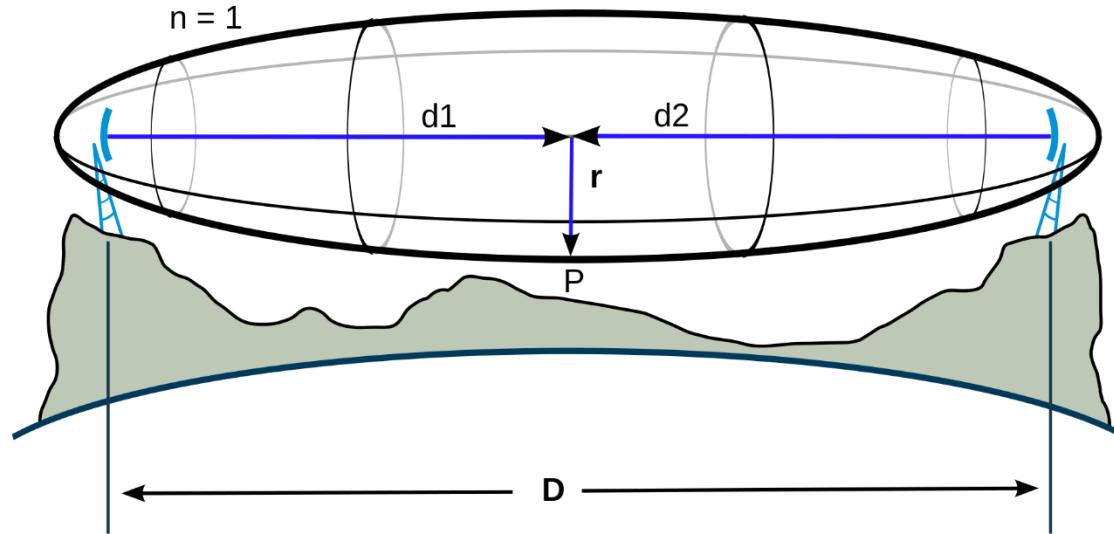
**Cálculo según ITU-R I.175**

**Criterio de la obstrucción < 15%  
del área**

$$Rf_n(m) = 548 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{F \cdot d}}$$

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

# Zona de Fresnel



$$r_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * D}}$$

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

# Zona de Fresnel



Si el enlace transmite a 2,4 GHz.  
¿Es suficiente la zona despejada de 3,9m?

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$



$$r = 17,32 \sqrt{\frac{1,4}{4(2,4)}}$$

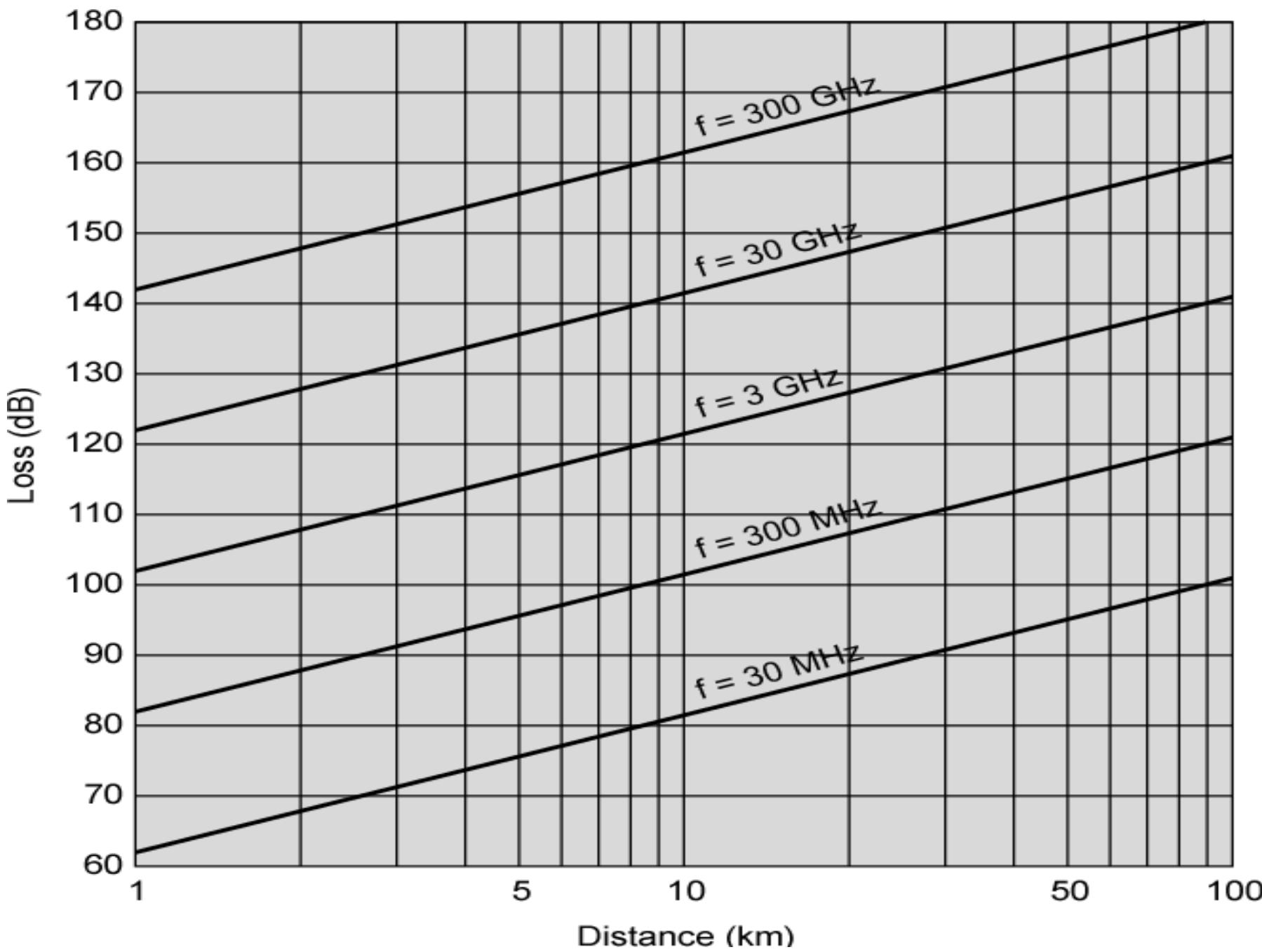


$$r = 17,32 \sqrt{\frac{1,4}{9,6}}$$

$$r = 6,61 [m]$$

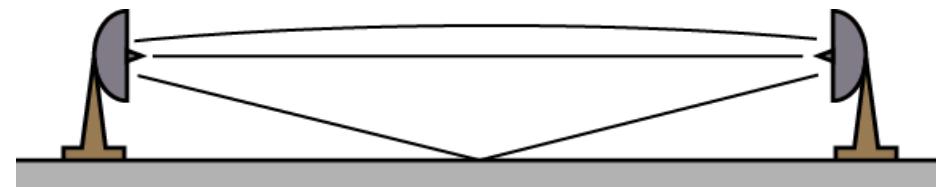
# Transmisión por línea de vista

- Cualquier comunicación inalámbrica produce una dispersión de la señal con la distancia.
- A este fenómeno se lo llama: Pérdida en el espacio libre y se calcula de la siguiente manera:
  - $L(\text{dB}) = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147.56 \text{ dB}$

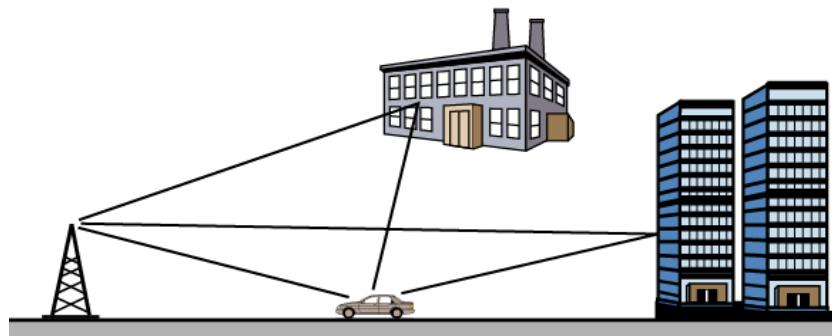


# Multipath Interference

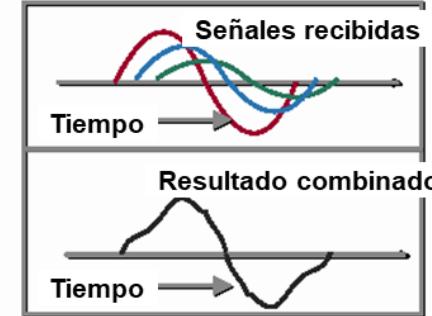
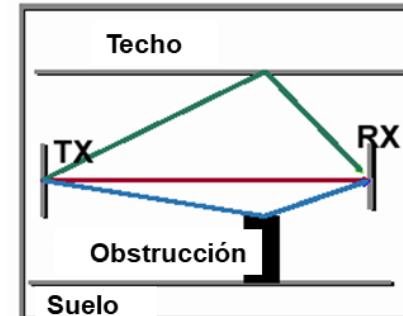
- Se debe al desfase entre la señal que llega en línea recta y la que llega por paredes, obstáculos
- Puede cancelarse si la diferencia de fase coincide con media longitud de onda



(a) Microwave line of sight



(b) Mobile radio



# Pérdidas en los alimentadores

Alimentador	Banda de transmisión GHz	Atenuación específica dB/100m	Pérdida por diversidad dB	Pérdida por par de acoplos dB	Impedancia característica Ω	Resistencia a dc Ω/100 m	NVP
Coaxil	Hasta 0,9	3,00	2	1,2	50	0,78	88
	0,9 - 1,5	4,80					
	1,5 - 1,9	5,00					
	1,9 - 2,2	5,40					
	2,2 - 2,4	5,80					
Guía de onda	2,4 - 3,1	1,40	4	0,6	N/A	N/A	97,08
	3,1 - 4,4	2,10					
	4,4 - 6,2	3,60					
	6,2 - 7,1	4,30					
	7,1 - 7,7	4,60					
	7,7 - 8,5	5,60					
	8,5 - 10,0	8,40					
	10,0 - 11,7	8,90					
	11,7 - 13,3	11,20					
	13,3 - 15,4	13,70					
	15,4 - 19,7	18,90					
	19,7 - 23,6	28,10					
	23,6 - 26,5	32,00					
	26,5 - 40,0	60,00					

# Pérdida de desvanecimiento

Término	Pondera	Factores	Valores
■ $30 \log D$	La diversidad modal	<b>D</b> Distancia	La distancia visual entre antenas, en Km
■ $10 \log (6A B F)$	El entorno de propagación	<b>A</b> Factor de rugosidad	4 = espejos de agua, ríos muy anchos, etc. 3 = sembrados densos; pastizales; arenales 2 = bosques (la propagación va por encima) 1 = terreno normal 0,25 = terreno rocoso desparejo
		<b>B</b> Factor climático	1 = áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas 0,5 = áreas tropicales calientes y húmedas 0,25 = áreas mediterráneas de clima normal 0,125 = áreas montañosas de clima seco y fresco
■ $10 \log (1 - R)$	El objetivo de confiabilidad	<b>F</b> Frecuencia	La frecuencia medida en GHz
		<b>R</b> Confiabilidad	La confiabilidad esperada o convenida, como un decimal

$$L_D (\text{dB}) = 30 \log D + 10 \log (6A B F) - 10 \log (1 - R) - 70$$

# Ganancias de las antenas

Diámetro		Frecuencias superior e inferior en GHz													
(m)	(pies)	0,9 a 1,5	1,7 a 1,9	1,9 a 2,3	2,3 a 2,5	2,5 a 2,7	3,4 a 4,2	4,0 a 6,4	6,4 a 7,1	7,1 a 8,5	10,0 a 13,0	13,0 a 16,0	16,0 a 20,0	20,0 a 25,0	
0,3	1											29,0	31,1	33,0	37,5
0,6	2				18,5	18,6				29,3	33,4	34,4	36,3	38,2	42,4
0,9	3				22,1	22,4				31,9	36,7	37,0	39,1	41,7	
1,2	4	20,7	22,3	24,2	25,0	25,9				34,9	39,5	40,4	42,5	44,2	
1,8	6	24,3	26,2	28,1	28,6	29,4	33,1	36,4	37,9	38,4	43,1	43,9	46,4	47,6	
2,4	8	26,9	28,7	30,6	31,3	31,9	35,4	38,9	40,3	40,9	45,5	44,4			
3,0	10	28,9	30,7	32,5	33,2	33,9	37,4	40,8	42,0	42,9	47,2				
3,7	12	30,5	32,4	34,1	34,8	35,5	39,0	42,44	43,6	44,6					
4,6	15						40,9	44,6	45,5	46,2					

# Perdidas Totales

## Pérdidas en el alimentador

Atenuación por metro, atenuación en los acoplos y pérdida por diversidad. Todas tabuladas

$$LA(\text{dB}) = L(m) \times \text{dB/m} + Q \text{ acoplos} \times \text{dB/acoplos} + \text{dB diversidad}$$

## Pérdidas en la trayectoria

Son función creciente del logaritmo del vano y del de la frecuencia

$$LT(\text{dB}) = 92,44 + 20 \log F(\text{GHz}) + 20 \log D(\text{Km})$$

## Pérdidas por desvanecimiento

Son función del tipo de terreno, del tipo de clima y del objetivo de confiabilidad

$$LD(\text{dB}) = 30 \times \log D(\text{Km}) + 10 \log (6ABF) - 10 \log (1 - R) - 70$$

30 log D: Pondera la diversidad modal

6 ABF: Pondera el entorno de propagación:

A: Factor de rugosidad del terreno

B: factor climático

10 log(1-R): Pondera el objetivo de confiabilidad

R: Confiabilidad deseada en número decimal

# Cálculo del enlace

$$L_S \text{ (dB)} = L_A + L_T + L_D - G_A$$

$$P_R \text{ (dBm)} = P_X \text{ (dBm)} - L_S \text{ (dB)} \geq S_R \text{ (dBm)}$$

**PR:** Potencia que se medirá a la entrada del radio módem receptor

**Px:** Potencia con la que la señal es generada por el radio módem transmisor

**GA:** Ganancias que serán aplicadas a la señal en la antena transmisora y en la receptora

**LT:** Pérdidas totales, representadas por las que habrá en los alimentadores y acoplos, como atenuación en la trayectoria y los márgenes de seguridad y ajuste que se tomarán

**LD:** Pérdidas por desvanecimiento

**Sr:** Sensibilidad en el receptor, es decir umbral de potencia que lo excita