

# Unidad 03

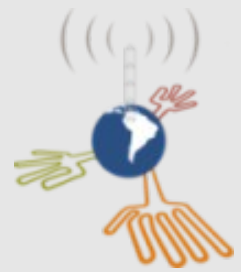


## Física de la Radio

Desarrollada por: Sebastian Büttrich y AEP

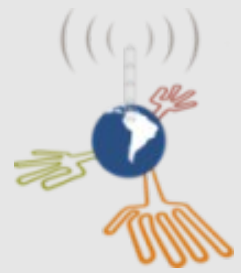
Editada por: Ermanno Pietrosemoli

# Objetivos



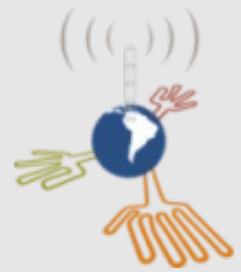
- ♦ Comprender las ondas electromagnéticas usadas en redes inalámbricas
- ♦ Comprender los principios básicos de su comportamiento
- ♦ Aplicar este conocimiento a situaciones de la vida real

# Contenidos



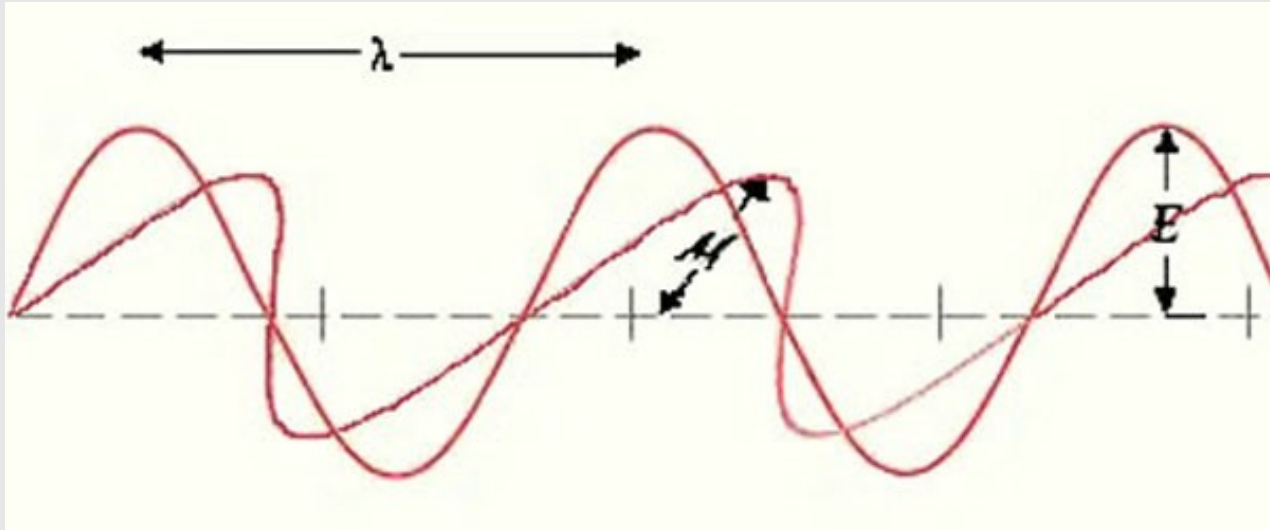
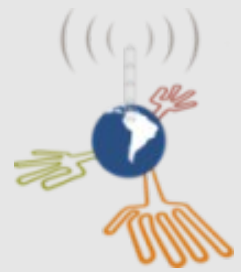
- ♦ Campos y ondas electromagnéticas
  - ♦ Características
- ♦ El espectro electromagnético
- ♦ Efectos electromagnéticos
  - ♦ Absorción, reflexión, difracción, refracción, interferencia
- ♦ Propagación en espacio libre
- ♦ Cuando la física hace una diferencia

# Ondas electromagnéticas

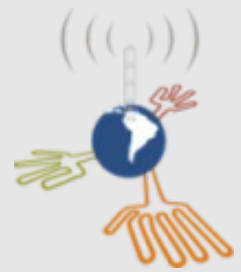


- ❖ Son ondas que se propagan en el espacio con componentes de campo eléctrico ( $E$ ) y magnético ( $H$ )
- ❖  $E$  y  $H$  oscilan en direcciones **perpendiculares entre sí**
- ❖ Existe una gran cantidad de posibilidades de disposición del campo eléctrico y magnético, dando lugar a diferentes **modos de propagación**
- ❖ Ejemplos: luz, rayos-x y ondas de radio

# Ondas electromagnéticas

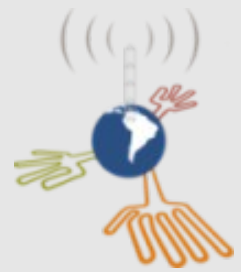


- ♦  $\lambda$  = Longitud de onda
- ♦  $E$  = Amplitud de campo eléctrico
- ♦  $H$  = Amplitud de campo magnético

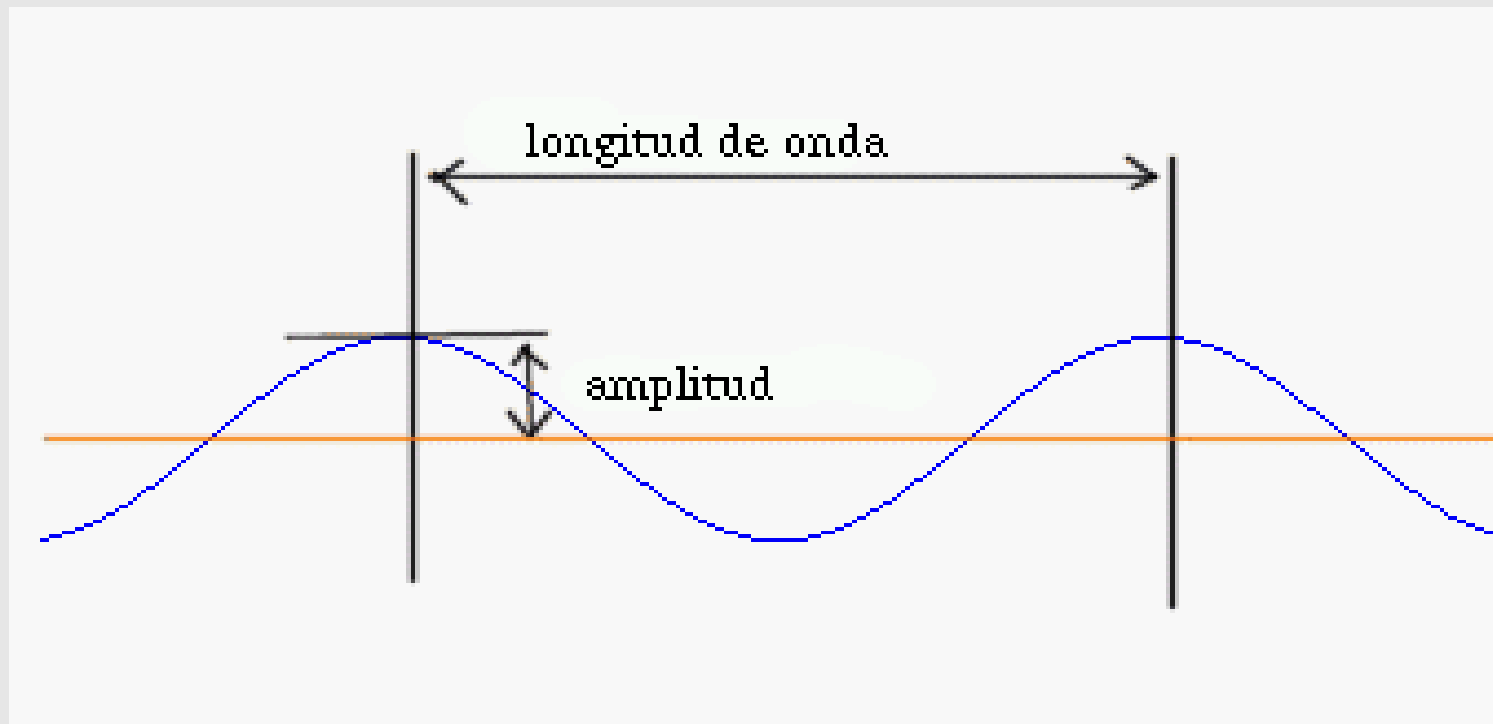


# Ondas electromagnéticas

- ♦ Campos E y H
- ♦ No requieren un medio de transporte
- ♦ Longitud de onda y frecuencia

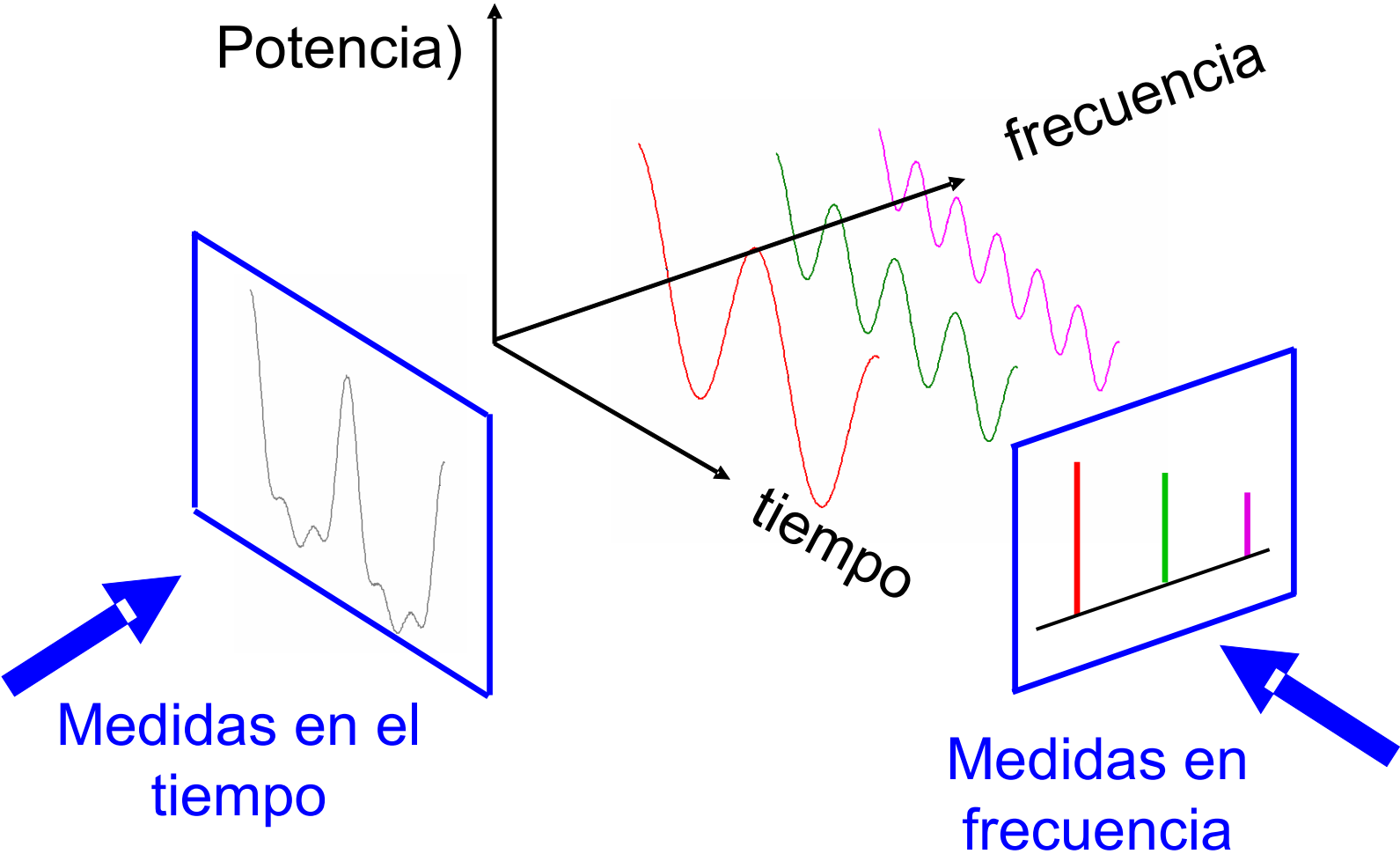


# Una onda



# Análisis Espectral

Dominio del tiempo y de la frecuencia



# Longitud de onda y frecuencia



$$c = \lambda * f$$

$c$  = la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s) [m/s]

$\lambda$  = longitud de onda [m]

$f^*$  = frecuencia, Hz, [1/s]

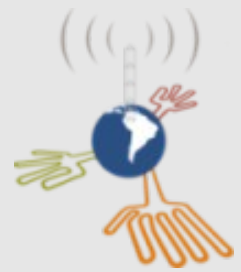
(\*) a la frecuencia tambien se le llama  $\nu$  (Nu)

# Longitud de onda y frecuencia



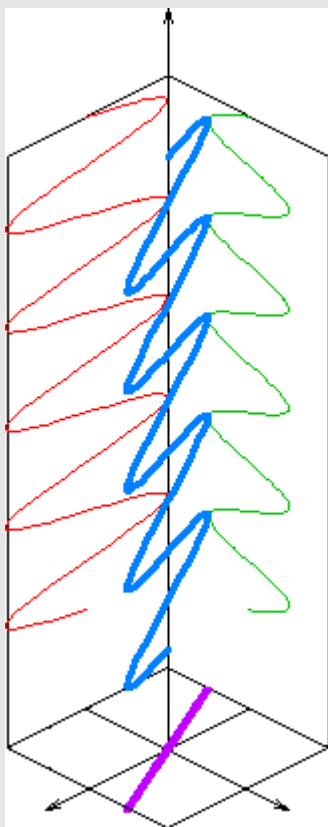
- ♦ Una onda EM con una frecuencia de 2,4 GHz tiene una longitud de onda de 12,5 cm
- ♦ Una onda electromagnética que viaja a la velocidad de la luz toma:
  - ♦ 1.3 segundos de la Luna a la Tierra
  - ♦ 8 minutos del sol a la tierra
  - ♦ 300 microsegundos en recorrer 100 km

# Potencias de 10 y símbolos internacionales

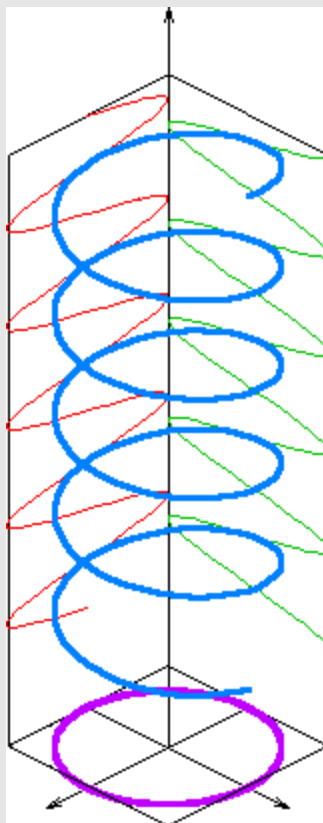


<i>Prefijo</i>	<i>Cantidad</i>		<i>Símbolo</i>
nano	$10^{-9}$	1/ 1.000.000.000	n
micro	$10^{-6}$	1/1.000.000	$\mu$
mili	$10^{-3}$	1/1.000	m
centi	$10^{-2}$	1/100	c
kilo	$10^3$	1.000	k
mega	$10^6$	1.000.000	M
giga	$10^9$	1.000.000.000	G

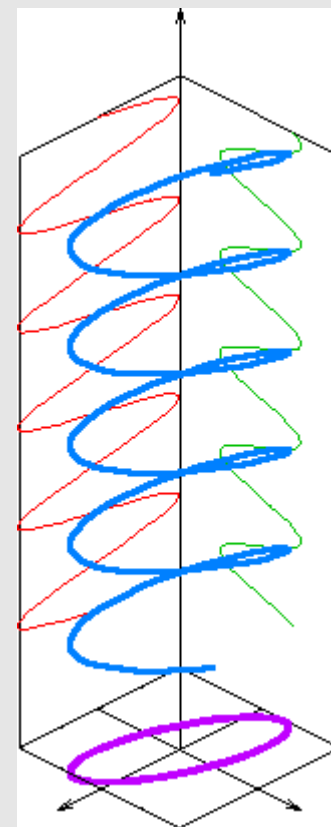
# Polarización



lineal



circular

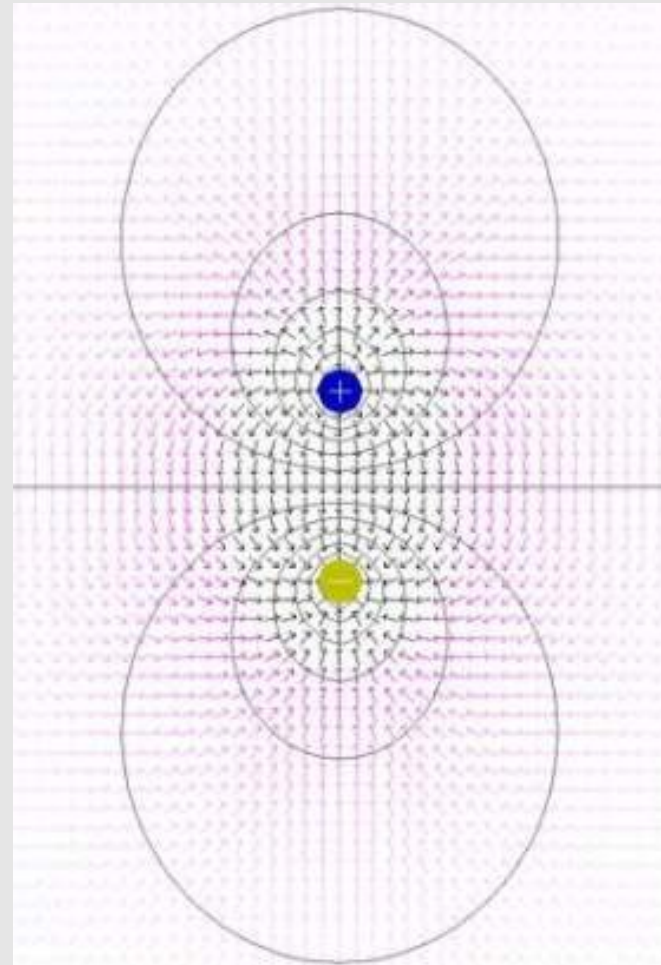


elíptica

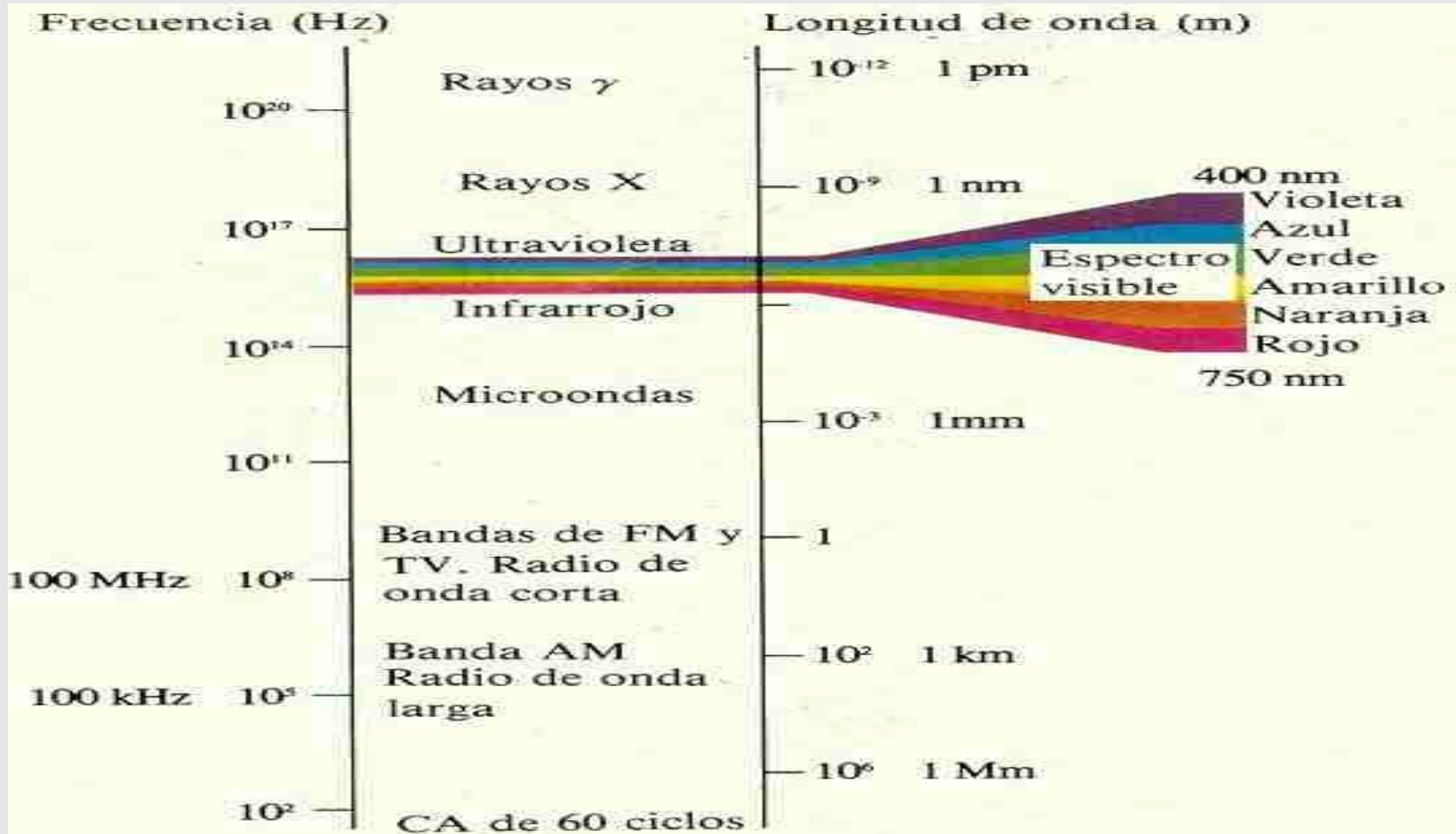
# Radiación de un Dipolo



- ♦ La radiación del dipolo es el campo electromagnético producto del sistema de electrones en movimiento oscilatorio en un conductor lineal, o sea un alambre recto.
- ♦ Es una de las formas mas simples de una antena; la antena de dipolo.

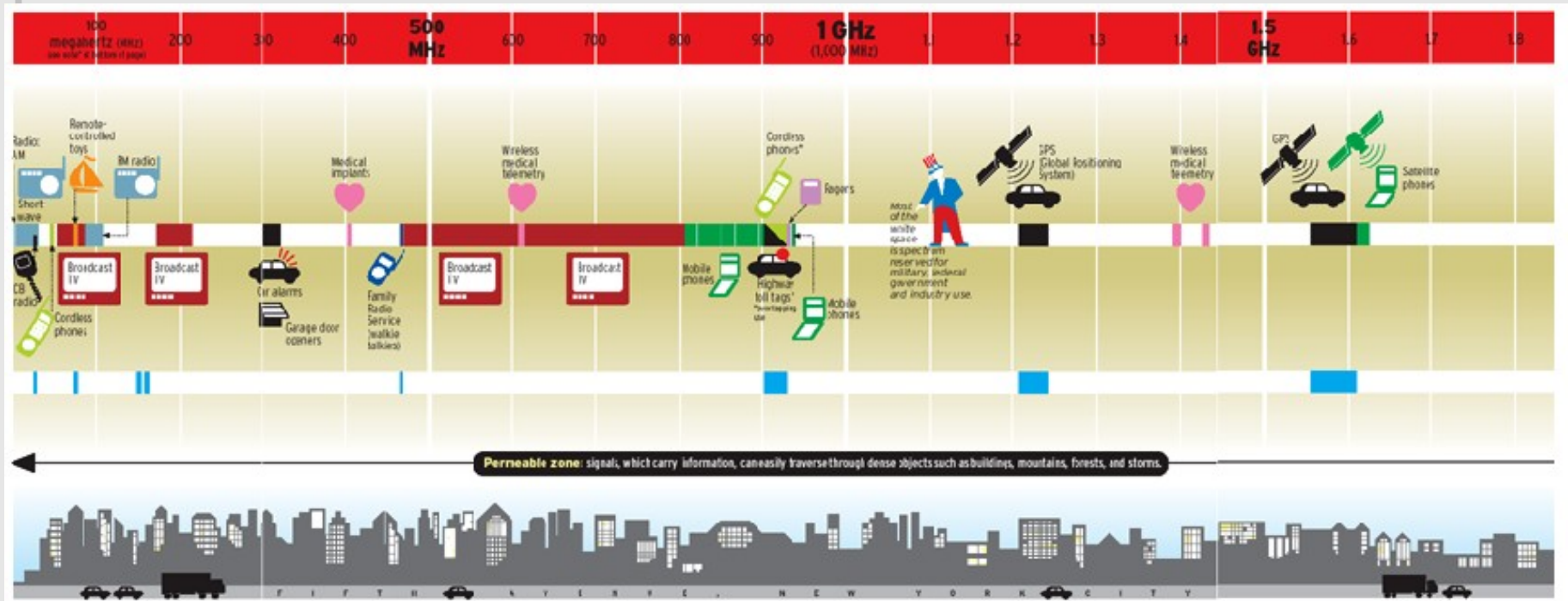


# El espectro electromagnético





# Uso del espectro electromagnético



Radio waves are transmitted at different frequencies measured in **hertz (Hz)**. A slice of spectrum contains a band of frequencies. The wider the band, the more information carrying capacity it has. (It has more "bandwidth").

Wireless bandwidth is generally counted in megahertz.

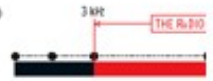
**Abbreviations:** **kilohertz** (1,000 hertz) is written as **kHz**, **megahertz** (1 million hertz) is written as **MHz**, and **gigahertz** (1 billion hertz, or 1,000 megahertz) is written as **GHz**.

A **wavelength** is the distance between the recurring peaks of a wave.

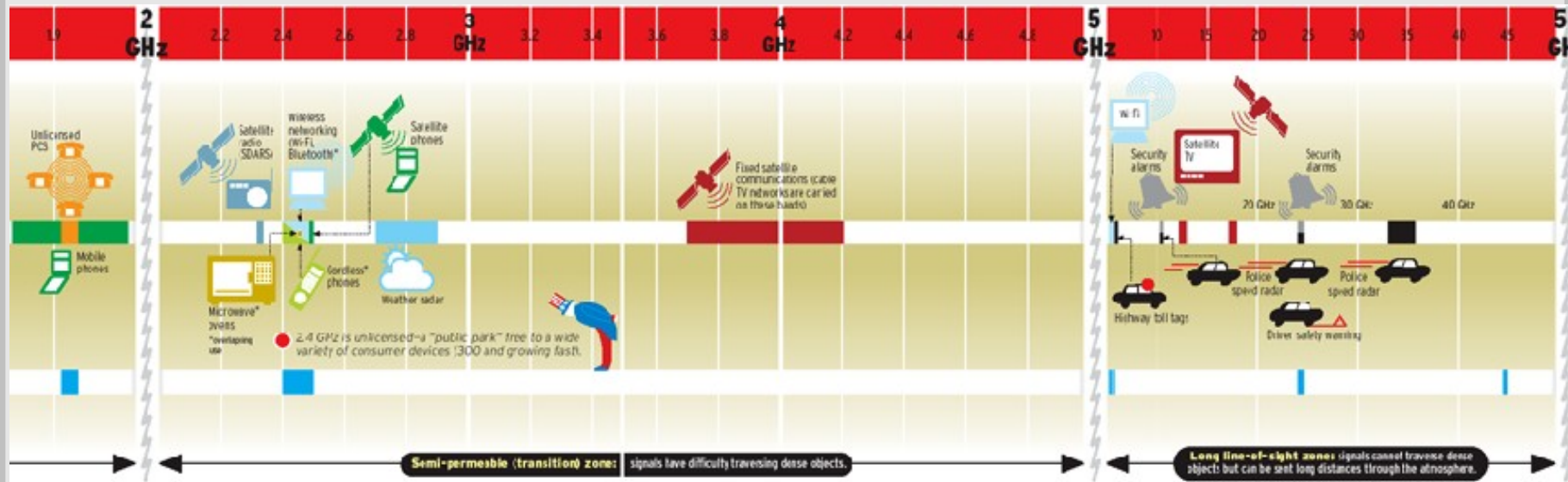
The size of the wavelength influences the ability of a wave to pass through objects. Generally, as a wavelength increases in size, its value also decreases.

The **electromagnetic spectrum** has long wavelengths (low frequency) at one end and short wavelengths (high frequency) at the other end.

The **radio spectrum** (enlarged in the charts above) is the portion of the total electromagnetic spectrum distinguished by its value for communication.



# Uso del espectro electromagnético



**The amount of spectrum required for everyday communications**  
 Today, most wireless communication is low fidelity audio. In the future, high fidelity video could require up to 5,000 times as much bandwidth.

LOW FIDELITY COMMUNICATIONS	10 kHz	Voice (e.g., telephone quality)
	100 kHz	Music (e.g., CD quality)
	1,000 kHz (1 MHz)	Standard definition TV (e.g., VCR quality)
	5,000 kHz (5 MHz)	High definition TV (e.g., movie theater quality)
HIGH FIDELITY COMMUNICATIONS	50,000 kHz (50 MHz)	Super high definition TV* (e.g., glossy magazine quality)

\*Super high definition video in 3D or telephony would require additional bandwidth.

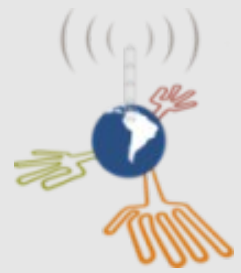
*"The basic problem is that demand for spectrum is outstripping the supply."*  
 U.S. General Accounting Office Report, September 2002



# Frecuencias en redes inalámbricas

<i>Frecuencia</i>	<i>Estándar</i>	<i>Longitud de Onda</i>
<b>2,4 GHz</b>	<b>802.11 b/g</b>	<b>12,5 cm</b>
<b>5, x GHz</b>	<b>802.11a</b>	<b>5-6 cm</b>

# Propagación de ondas electromagnéticas



- ♦ Frentes de onda
- ♦ Principio de Huygens:

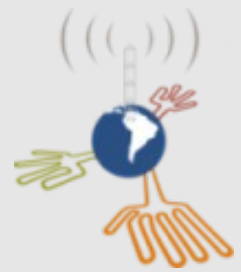
*“En cualquier punto de un frente de onda, se puede considerar que se origina un nuevo frente de onda esférico”*

# Propagación de ondas electromagnéticas



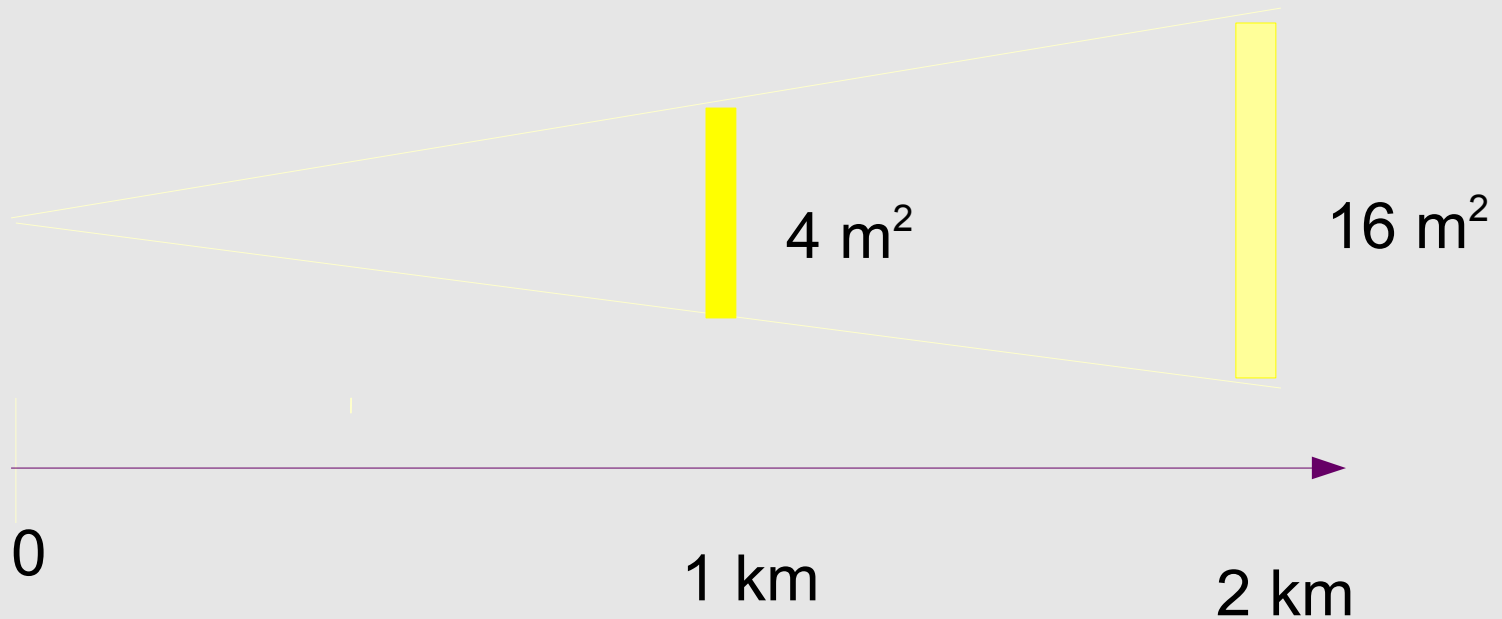
- ♦ Una onda se propaga en línea recta solamente en el vacío, en cualquier otro medio puede cambiar su trayectoria debido a la presencia de obstáculos o de diferencias en la composición del medio.

# Atenuación geométrica de las ondas electromagnéticas

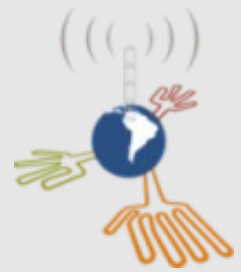


- ♦ Cuando una onda se propaga en el espacio, se esparce sobre una superficie cada vez mayor a medida que se aleja del transmisor.
- ♦ La potencia que se puede capturar de la onda disminuye con el cuadrado de la distancia al transmisor por este efecto puramente geométrico
- ♦ A esto se le denomina "Pérdida en el Espacio Libre", FSL en inglés

# Atenuación geométrica de las ondas electromagnéticas



# Otras causas de atenuación de ondas

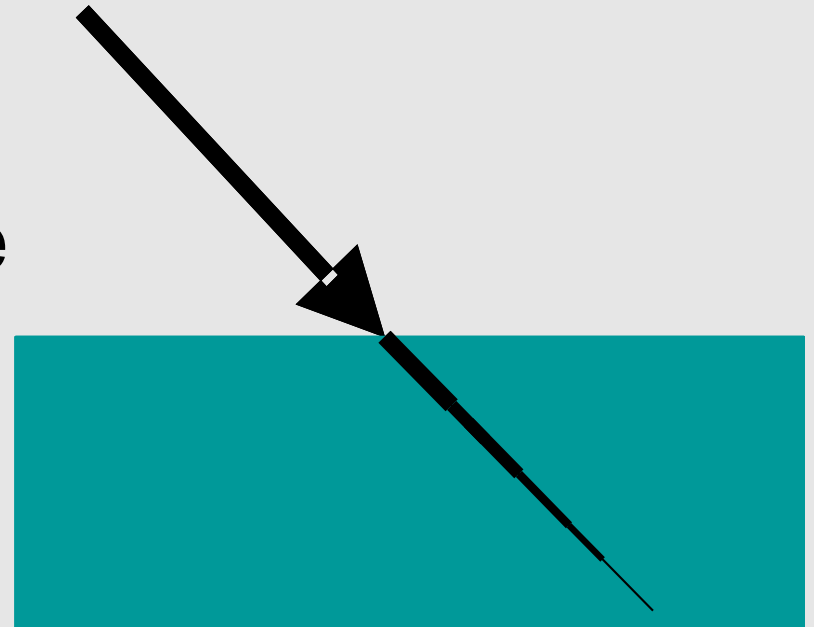


- ♦ Absorción
- ♦ Reflexión
- ♦ Difracción
- ♦ Refracción
- ♦ Interferencia

# Absorción



- ▶ Pérdida de energía en el medio de propagación
- ▶ La potencia decrece de manera exponencial
- ▶ La energía absorbida generalmente se transforma en calor

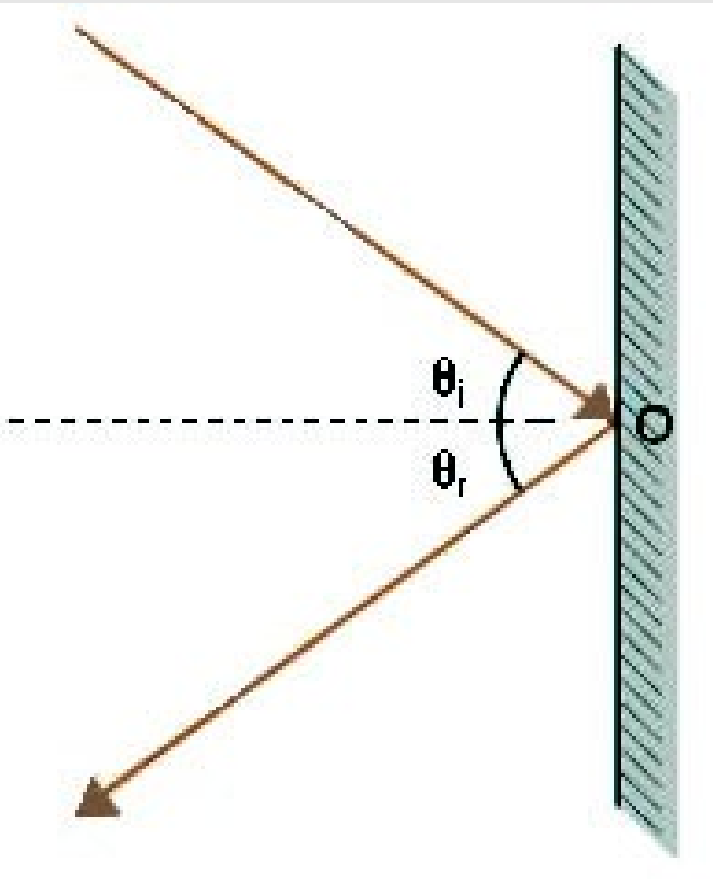


# Absorción



- ♦ Absorción intensa
- ♦ El agua absorbe rápidamente las ondas electromagnéticas, así como muchas otras sustancias
  - ♦ Metal
  - ♦ Roca, ladrillo y concreto

# Reflexión



Angulo de incidencia =  
Angulo de reflexión

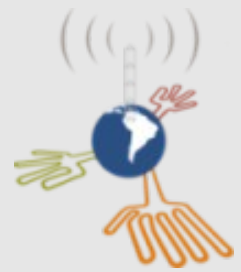
# Difracción



Como consecuencia del principio de Huygens, cada punto de un obstáculo genera un nuevo frente de ondas, el nuevo frente puede rodear un obstáculo

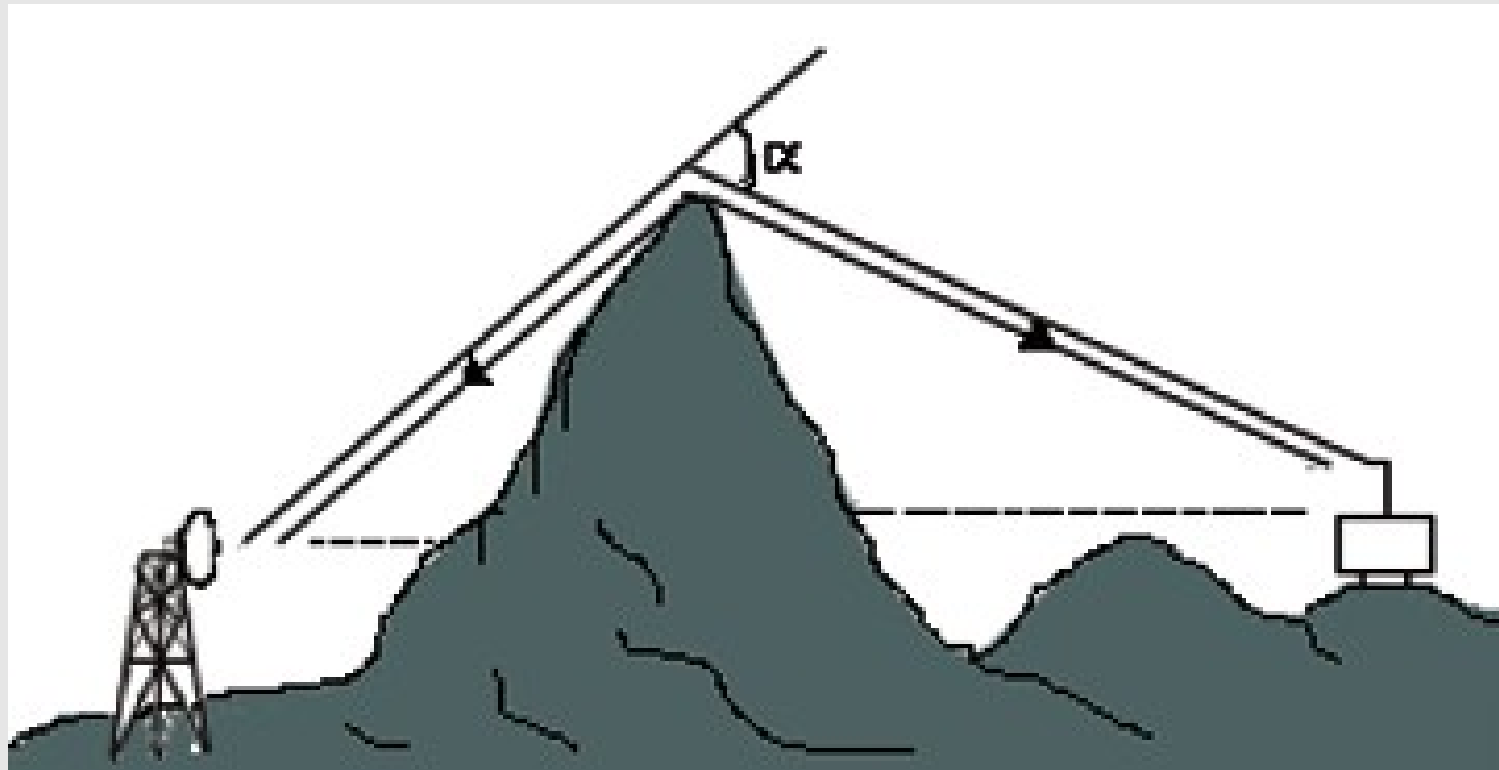
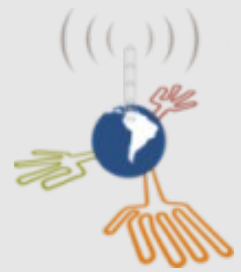


# Difracción



- ♦ Es proporcional a la longitud de onda
- ♦ Las ondas mas largas se difractan más, dando la impresión de “voltear la esquina”
- ♦ Las radios AM que operan en 1000 kHz ( $\lambda = 300$  m) no requieren línea de vista y se propagan a gran distancia
- ♦ En comunicacion inalámbrica la longitud de onda es de 12,5 cm

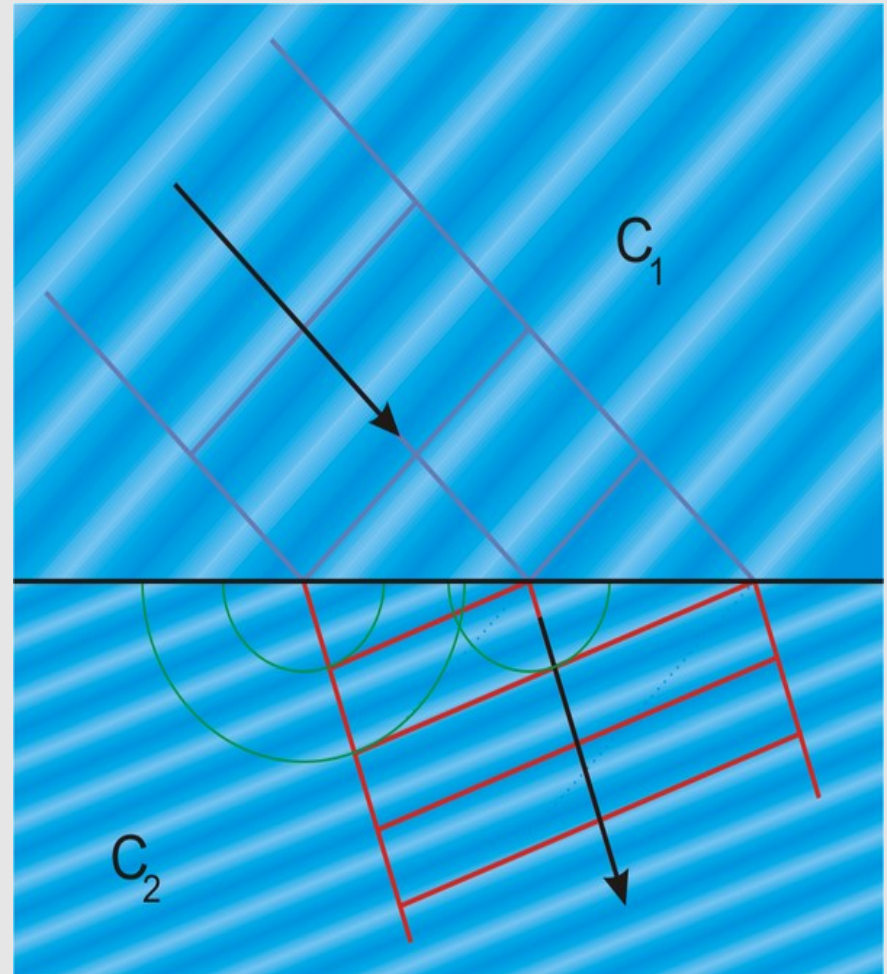
# Difracción



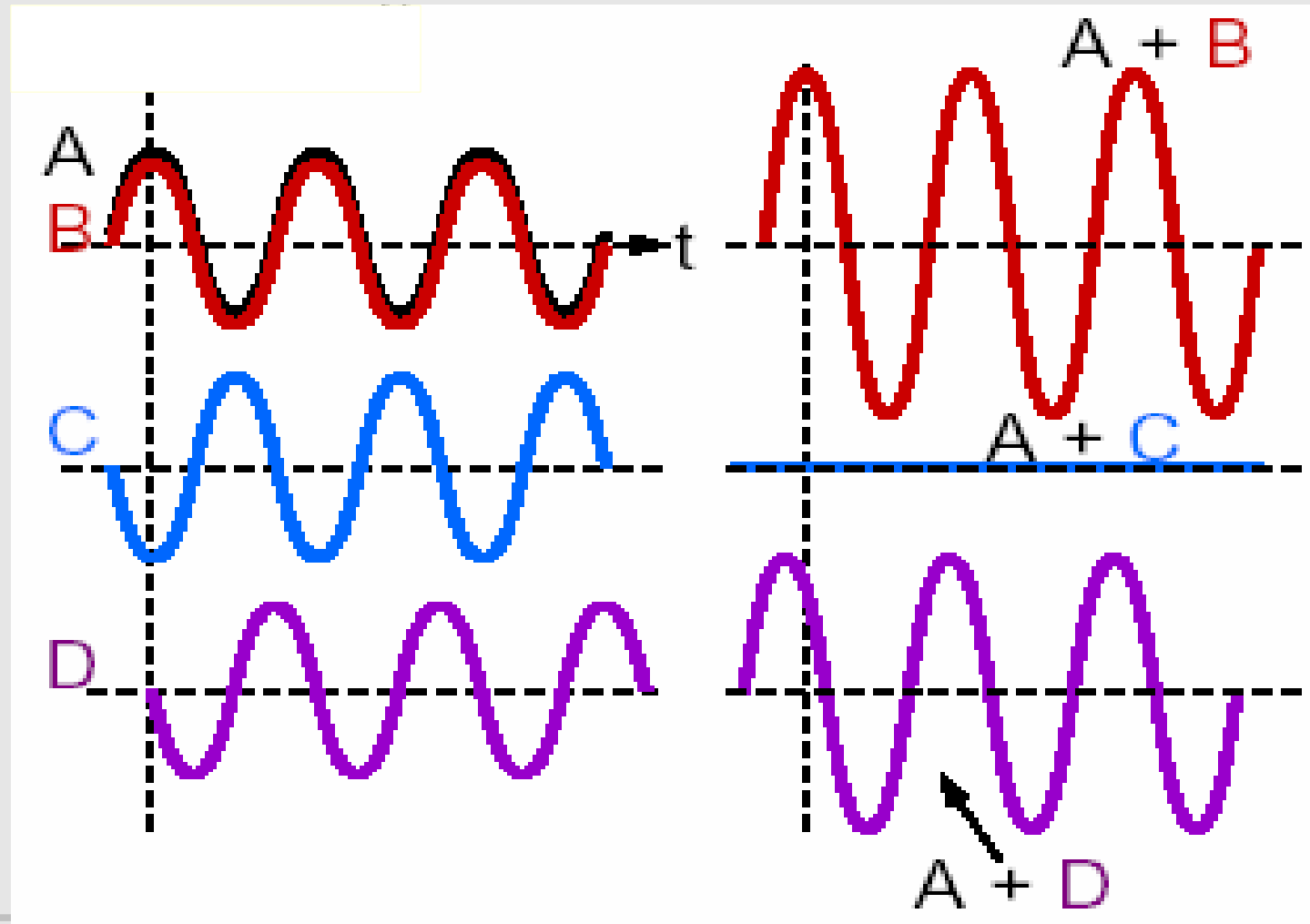
# Refracción



Cuando una onda pasa de un medio a otro de densidad diferente, cambia de velocidad y en consecuencia de dirección



# Interferencia





# Efecto de la frecuencia

- En general, a mayor frecuencia mayor ancho de banda disponible, pero menor alcance
- A frecuencias bajas las ondas son guiadas por la superficie terrestre y reflejadas por las capas ionosféricas
- A frecuencias altas las ondas de radio se comportan como la luz, por lo que se requiere línea visual entre el transmisor y el receptor

CAPA IONOSFERICA

ionosférica

línea del horizonte.

volumen de  
dispersion.

TROPOSFERA

directa

TRANSORIZONTE

reflejada

refractada

T

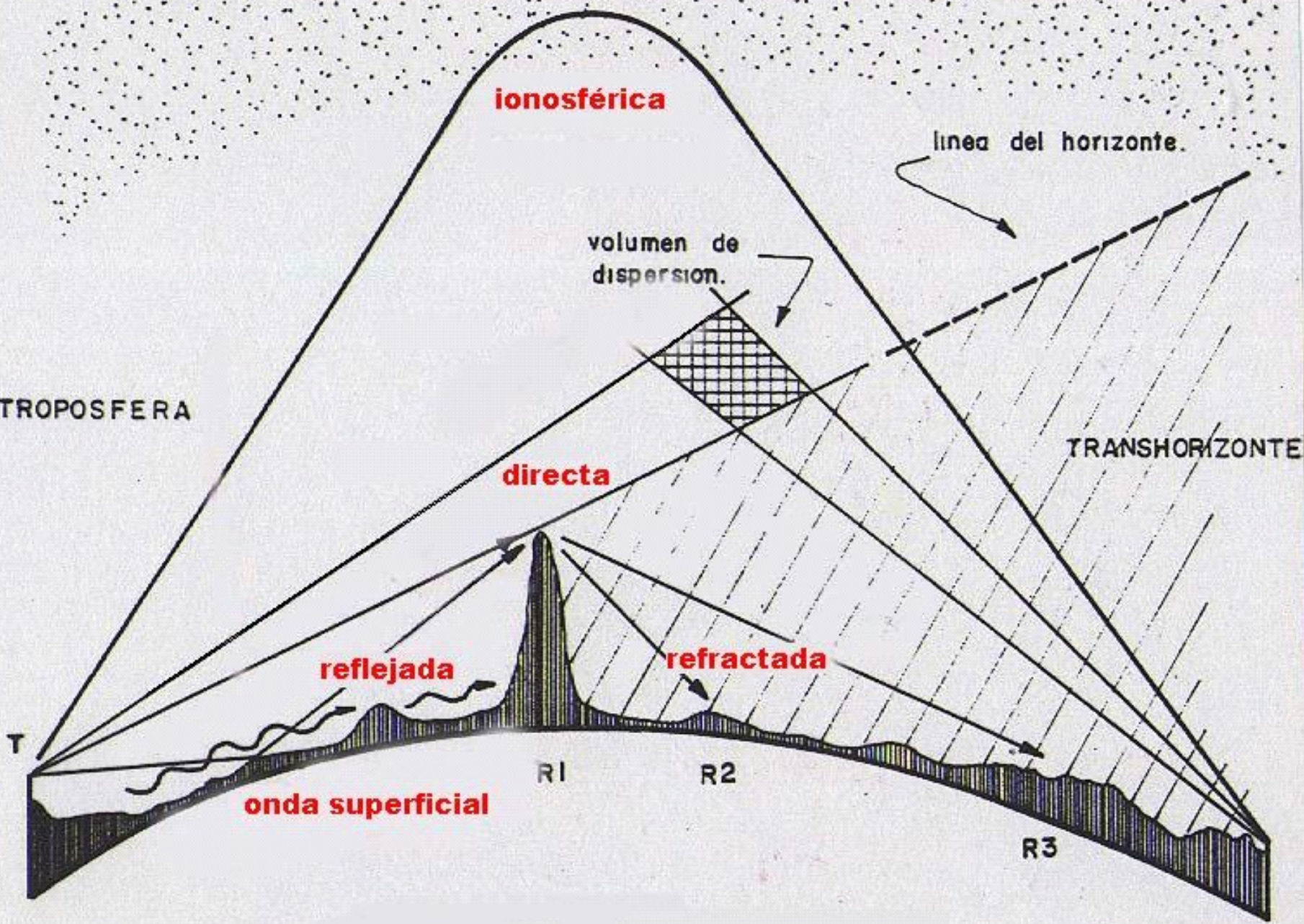
onda superficial

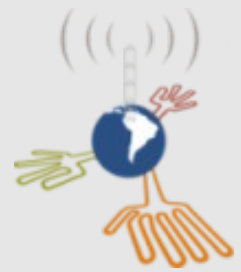
R1

R2

R3

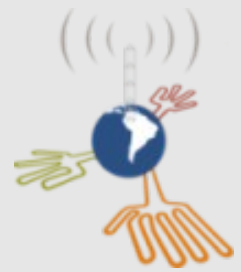
R4





# Propagación en espacio libre

- ♦ Pérdida en espacio libre (FSL)
- ♦ Zonas de Fresnel
- ♦ Línea de vista
- ♦ Efecto de trayectoria múltiple
- ♦ Curvatura de la tierra  $hc = d1 * d2 / 12,75K$



# Pérdida en espacio libre (FSL)

La atenuación es proporcional al cuadrado de la distancia y al cuadrado de la frecuencia

$$\text{FSL(dB)} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92,4$$

d = distancia en kilómetros

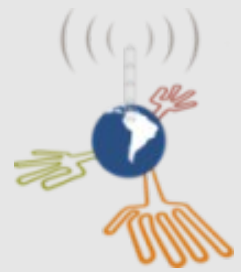
f = frecuencia en GHz

# Pérdida en el espacio libre (FSL)



**A la frecuencia de 2,4 GHz:**

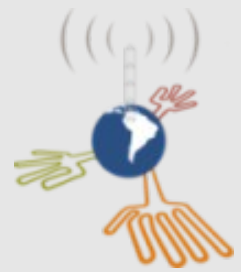
$$\text{FSL(dB)} = 20\log_{10}(d) + 100$$



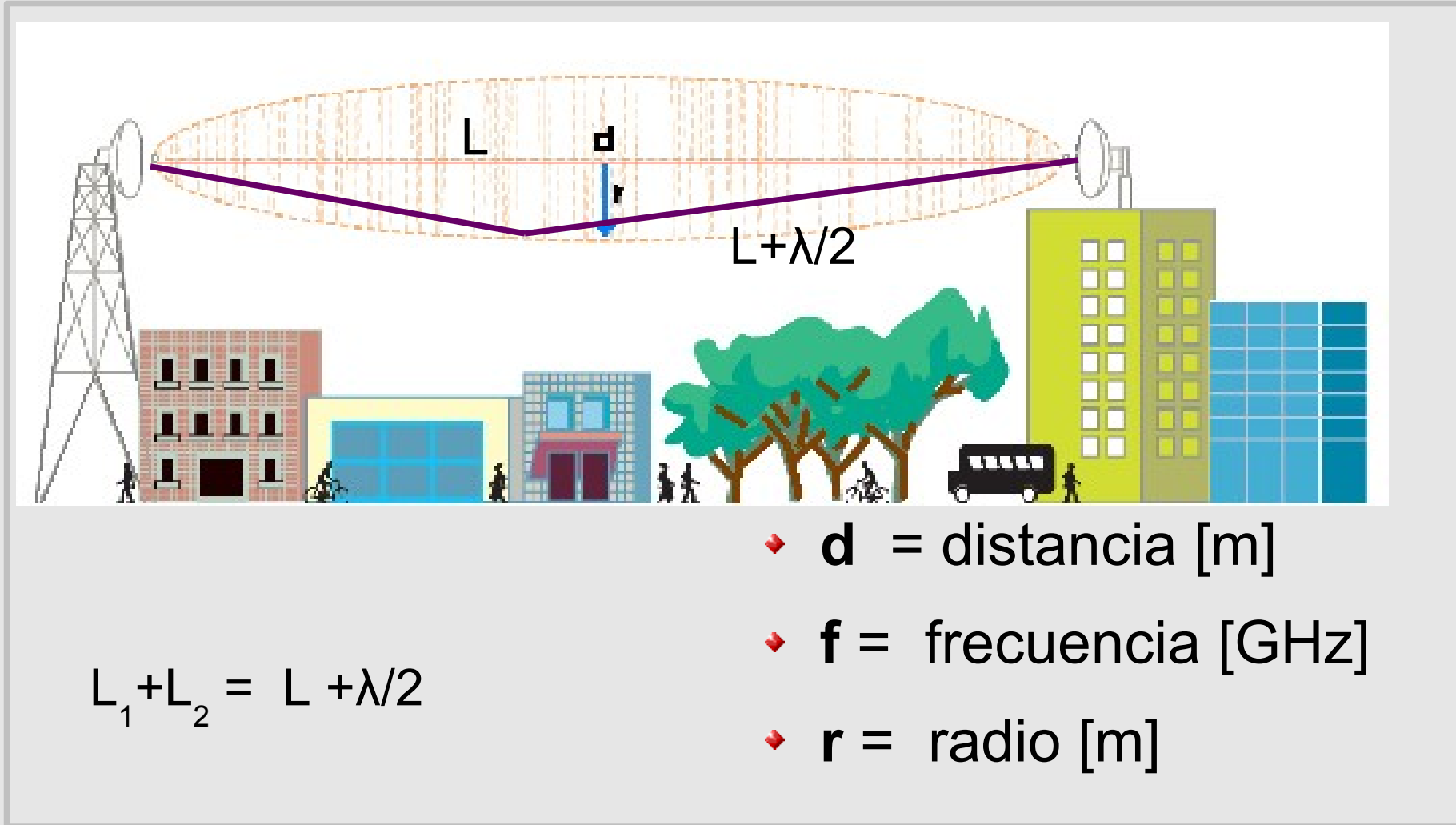
# Pérdida en espacio libre (PEL)

Reglas básicas para las redes inalámbricas a 2,4 GHz:

- ❖ Se pierden 100 dB en el primer kilómetro
- ❖ Cada vez que se duplica la distancia la potencia se reduce en 6 dB
- ❖ Un enlace de 2 km tiene una pérdida de 106 dB
- ❖ Un enlace de 4 km tiene una pérdida de 112 dB



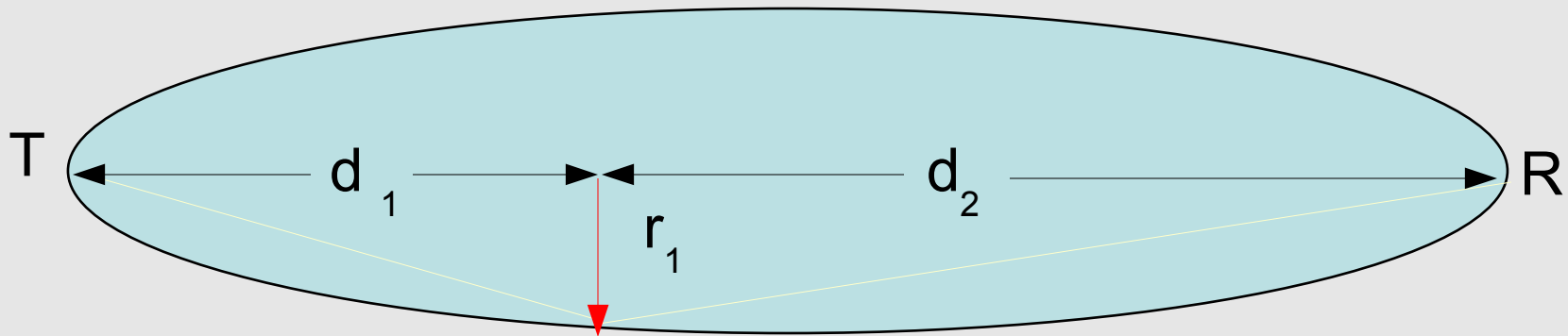
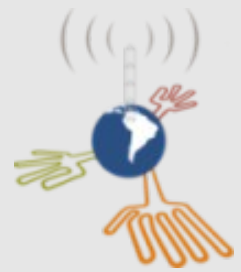
# Zonas de Fresnel



$$L_1 + L_2 = L + \lambda/2$$

- ♦  $d$  = distancia [m]
- ♦  $f$  = frecuencia [GHz]
- ♦  $r$  = radio [m]

# 1 era Zona de Fresnel



$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}} \leq \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

$r_1$  = radio de la primera zona de Fresnel, m

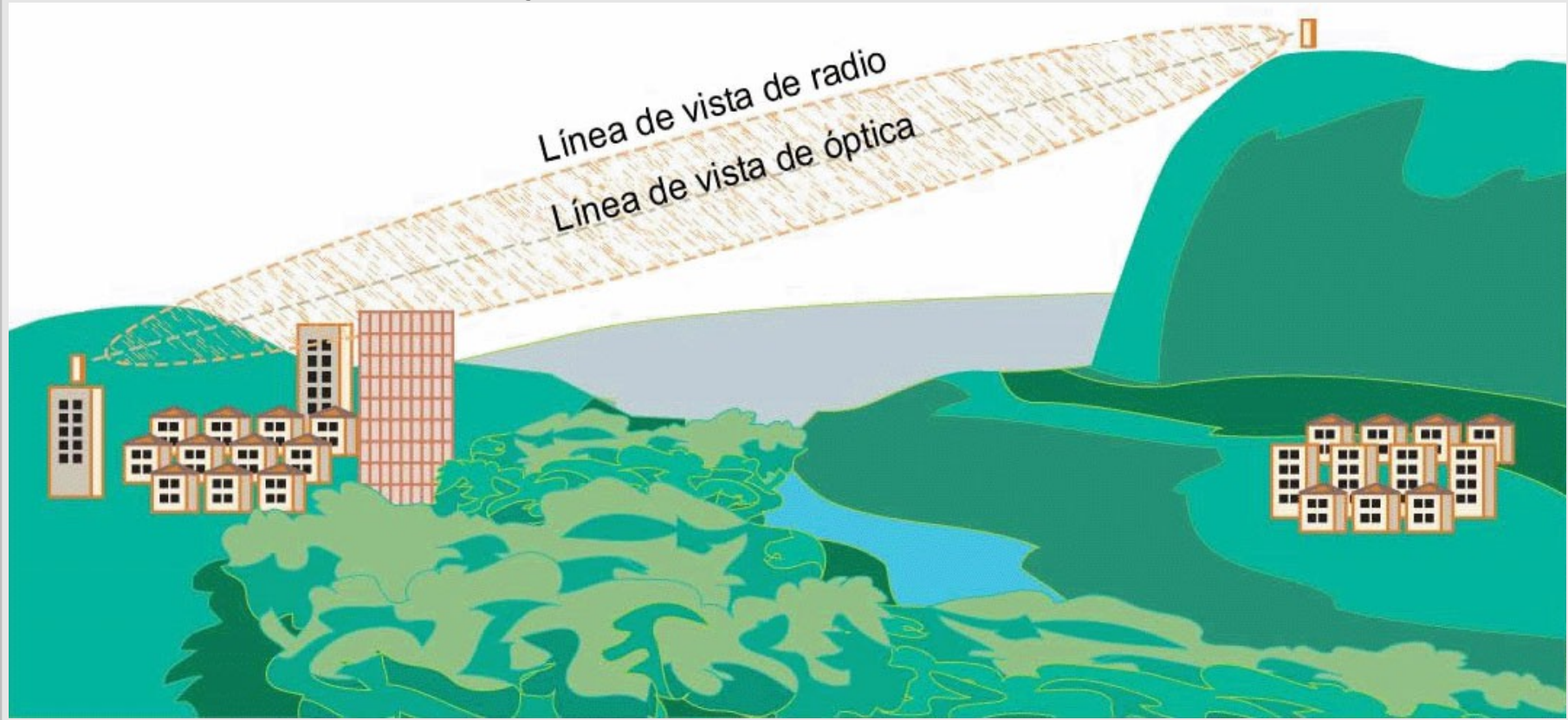
$d = d_1 + d_2$ , m

$\lambda$  = longitud de onda, m



# Línea de vista (LdV), LOS

En general, se necesita línea de vista (LdV) para un enlace de radio... y un poco de espacio alrededor.



# Efecto de las trayectorias múltiples

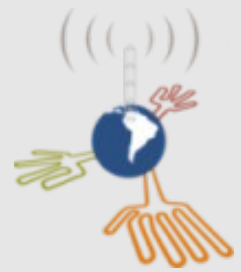


- ▶ Una señal puede llegar a un receptor por múltiples trayectorias
- ▶ Los retardos, y las interferencias pueden causar problemas
- ▶ Aprovechando las trayectorias múltiples, se puede resolver problemas de línea de vista
- ▶ El estándar MIMO aprovecha las trayectorias múltiples



# Donde la física hace una diferencia

1. Cuando un punto de acceso está bajo un escritorio
2. Cuando se pasa del invierno a la primavera
3. Cuando es hora de alto tráfico en la ciudad
4. Cuando se implementa un enlace de larga distancia
5. Cuando tienes que diferenciar la propaganda comercial de la verdad



# Ejemplo 1: Red de oficina

- ◆ Tipicamente hay multi trayectoria
- ◆ Problemas con los objetos
  - ◆ Gente (llenas de agua...)
  - ◆ Cosas metálicas (escritorios, máquinas)
- ◆ La elección de los lugares para el AP y las antenas es esencial



## Ejemplo 2:

# El invierno se convierte en primavera

- ♦ Más allá del clima, factores como la vegetación, humedad y lluvia cambian
- ♦ Los árboles secos son transparentes, pero los verdes no lo son

# Ejemplo 3: Hora de alto tráfico en la ciudad

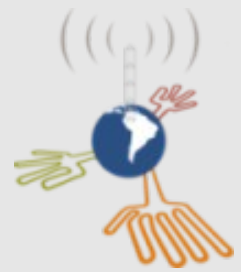


- ♦ En ambientes urbanos, las condiciones pueden cambiar en poco tiempo
  - ♦ Personas (70% agua), camionetas, automóviles, interferencia electromagnética
- ♦ Debes verificar el lunes lo que mediste en domingo

# Ejemplo 4: Enlaces de larga distancia

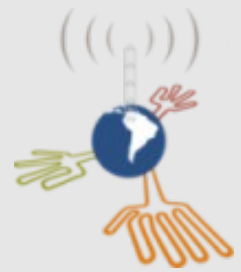


- ♦ El tiempo de propagación de la señal puede acarrear pérdidas y exceso de espera disminuyendo la tasa efectiva de transmisión
- ♦ Dependiendo del equipo, puede ser relevante a partir de 1-2 km
- ♦ Un indicio de exceso de espera es un índice alto de pérdida de paquetes



# Ejemplo 5: Mercadeo

- ♦ Una antena o equipo de radio no tiene un alcance específico. Los parámetros son:
  - ♦ Ganancia de la antena
  - ♦ Potencia de transmisión del radio
- ♦ Incluso con la promesas de WIMAX, las microondas aún no atraviesan materiales absorbentes
- ♦ Las mejores técnicas de modulación permiten “doblar las esquinas”



# Conclusiones

- ♦ Entendemos las bases de la propagación de ondas, atenuación, absorción, reflexión, difracción, refracción, interferencia, y sus implicaciones.
- ♦ El concepto de zona de Fresnel implica que las ondas ocupan un volumen.
- ♦ Podemos aplicar estas ideas a casos de la vida real, y confrontar a vendedores inescrupulosos.