

# Telecomunicaciones

## Tutorías para Examen de Título Área de Telecomunicaciones

### Sesión 1.1:

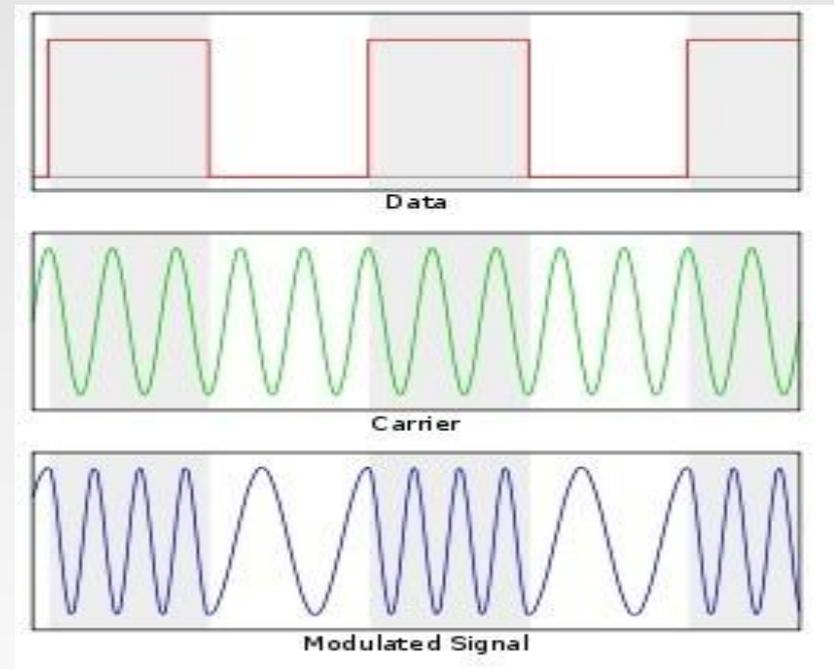
Introducción a los Sistemas de Comunicación y  
Propagación de onda en espacio libre

# Fuentes y Sistemas Digitales y Analógicos

- Una **fente digital** de información produce un conjunto finito de mensajes posibles.
- Una **fente analógica** de información produce mensajes que están definidos en un espacio continuo → infinitos mensajes distintos
- Una **Forma de onda digital** es una función en el tiempo que sólo puede adoptar un conjunto discreto de valores de amplitud. No sólo 1 o 0.
- Una **Forma de onda analógica** es una función del tiempo que posee un rango continuo de valores.

# Fuentes y Sistemas Digitales y Analógicos

- Un sistema de comunicación posee ambos tipos de señales, tanto digitales como analógicas
- Por ejemplo, la modulación FSK:
- Qué sistema de comunicación usaría FSK?



# Ventajas y Desventajas

- Circuitos económicos
- Permite encriptación de datos
- Mayor rango dinámico
- Permite reunir voz, video y datos en un mismo flujo
- El ruido no se acumula en cada repetidor
- Mayor inmunidad al ruido del canal

# Ventajas y Desventajas

- Los errores pueden corregirse con codificación
- **Pero:** Usa mayor ancho de banda que sistemas analógicos
- **Pero:** Se requiere sincronización

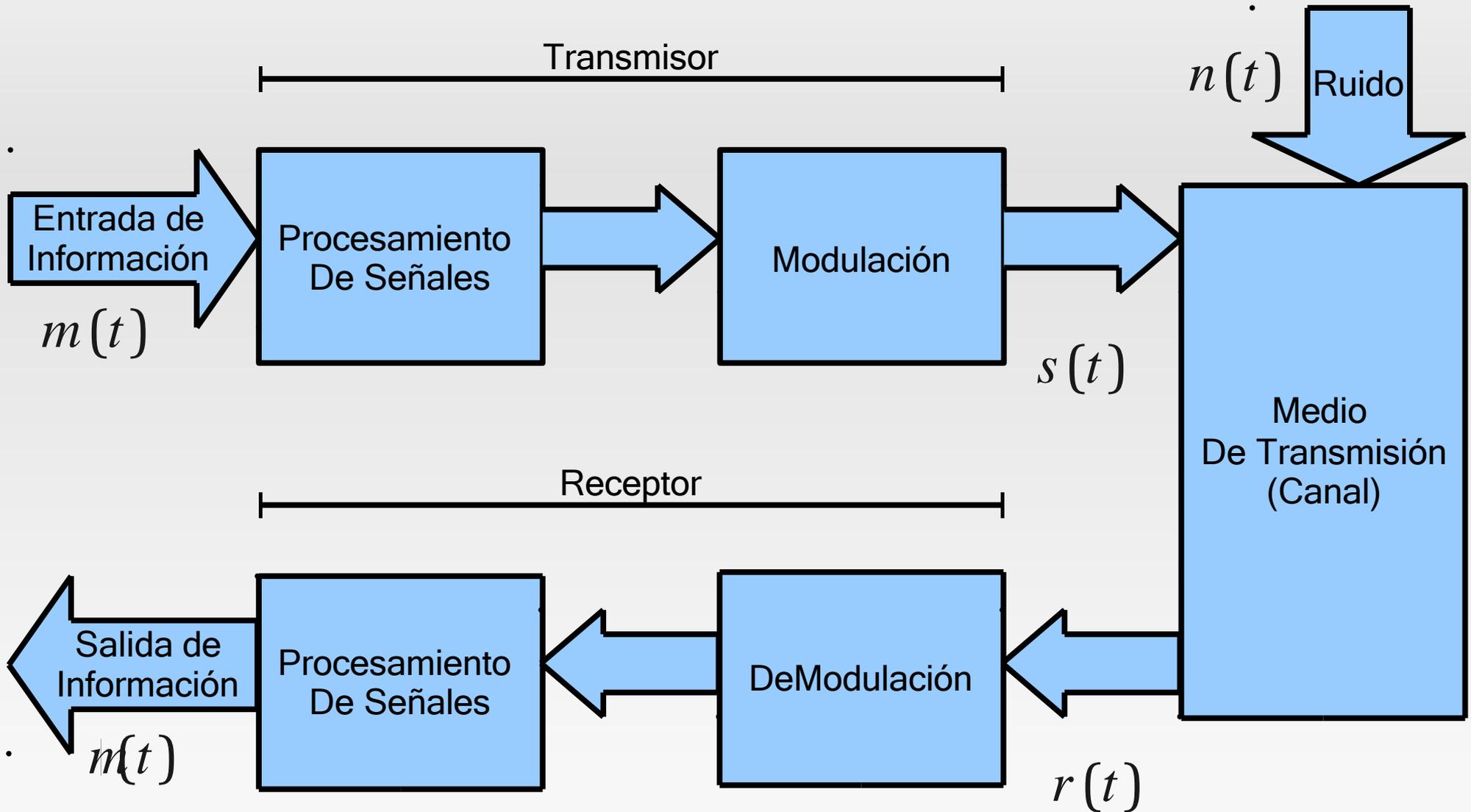
# Formas de Onda

- **Determinística:** corresponde a una función en el tiempo totalmente especificada, por ejemplo:

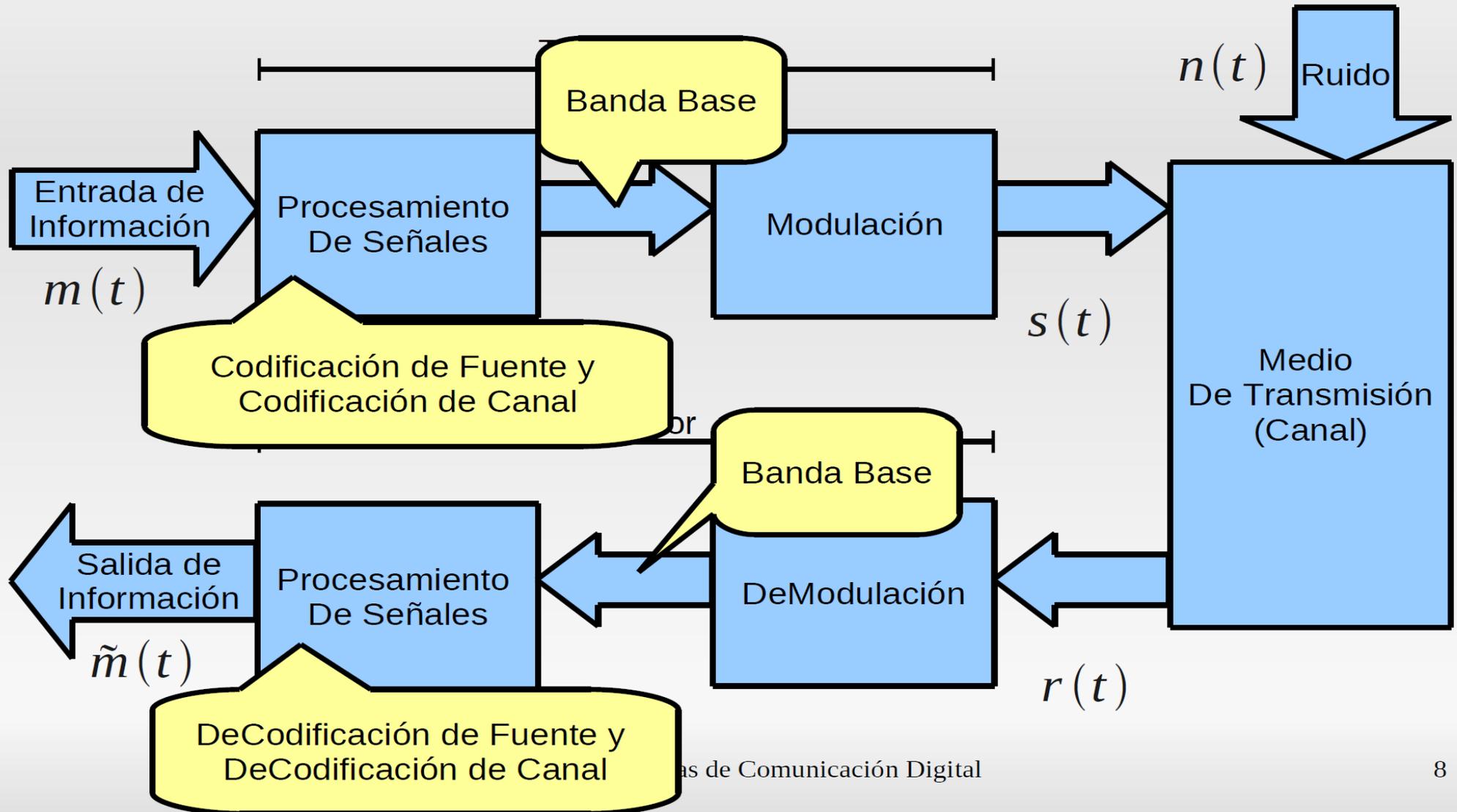
$$w(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)$$

- Una forma de onda **aleatoria** (o estocástica) no se puede especificar completamente como una función del tiempo y debe modelarse probabilísticamente.

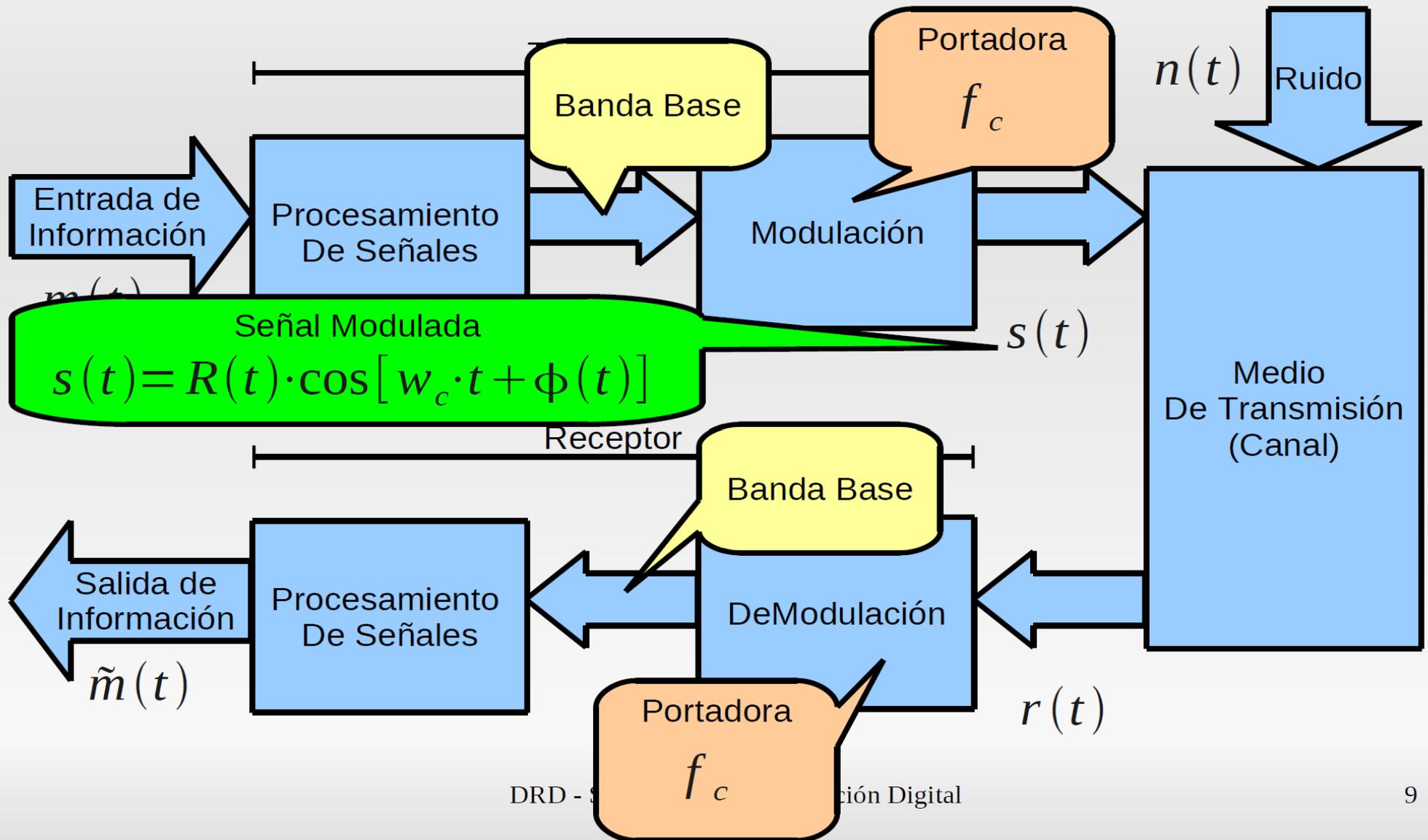
# Diagrama en bloques



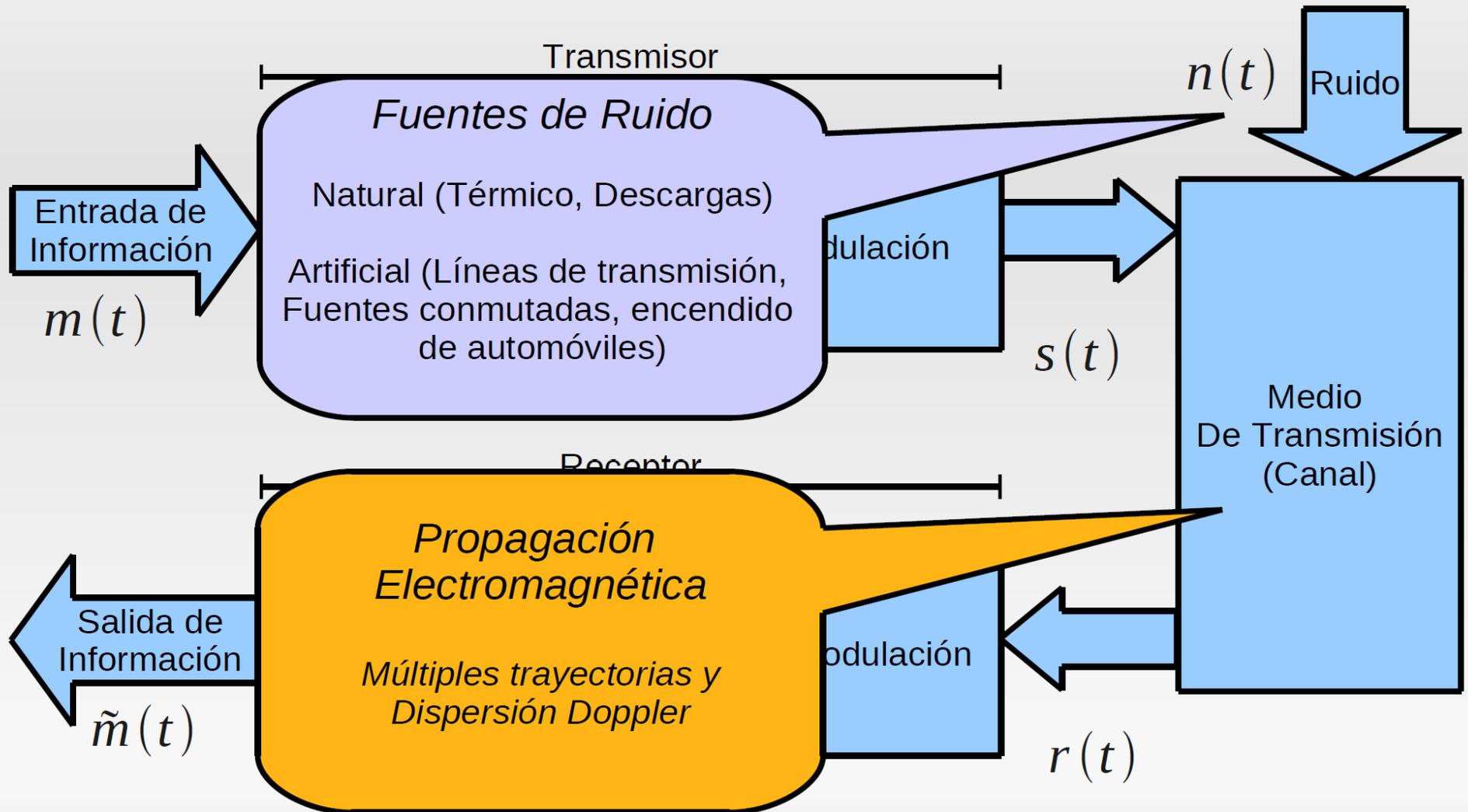
# Diagrama en bloques



# Diagrama en bloques

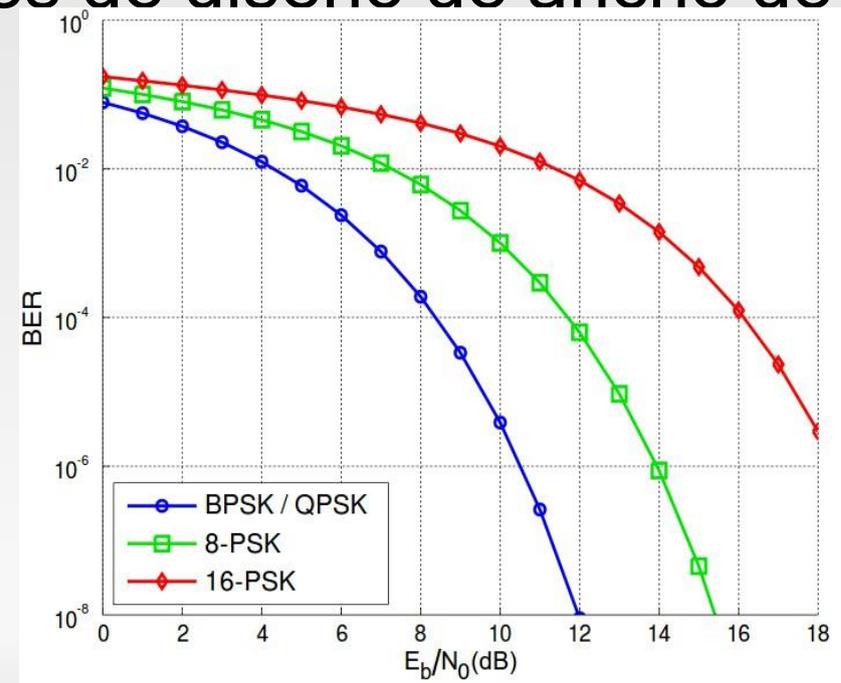


# Diagrama en bloques



# Sistema de Comunicación

- Objetivos de un sistema de comunicación:
  - Enviar la información con el mínimo deterioro posible
  - Satisfacer las condiciones de diseño de ancho de banda, potencia y costo
- Medida de la degradación digital:
  - BER (Bit Error Rate)



# Propagación de onda en espacio libre



# Asignación de frecuencias

- Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) / ITU
- Da la distribución internacional de frecuencias que determina:
  - Tipo de servicio
  - Modulación
  - Banda de frecuencias
  - Potencia máxima admisible

# Propagación según la frecuencia

- Propagación Terrestre únicamente:  
3KHz a 300KHz
  - Propagación Terrestre e Ionosférica:  
300KHz a 30MHz
  - Propagación Línea de Vista (LOS):  
30MHz a 300GHz
  - Atenuaciones por precipitaciones y vapor de agua: 10GHz, 22.2GHz, 183GHz
- **Dónde están los servicios típicos: AM, FM, TV?**

# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

El modo de propagación depende de la frecuencia de la onda

- **Las propiedades de la Tierra** y las distintas capas de la atmósfera afectan el modo de propagación de las ondas de radio, según su **frecuencia**.
- **Las fórmulas para medir** los efectos son complejas por naturaleza; por lo que algunas reglas básicas resultan útiles para entender y planear la propagación de ondas de radio:
  - ▶ **A frecuencias más bajas**, el alcance es mayor, la onda es más penetrante y rodea más obstáculos.
  - ▶ **A frecuencias más altas**, se transmite una mayor cantidad de datos.
- **Según el orden de frecuencia**, de baja a alta, las ondas de radio pueden tomar 3 trayectorias básicas de propagación a través del espacio libre.
- **Las ondas** que estén más cerca de la superficie de la Tierra se verán más afectadas por las propiedades de la Tierra.

Modos de propagación de ondas		
Hasta 2 MHz	300 kHz a 30 MHz	30 MHz a 30 GHz
Por onda de superficie o terrestre. La onda sigue a la superficie de la Tierra.	Por onda ionosférica. La onda se refracta en las capas ionizadas de la atmósfera.	Por onda espacial o línea de vista. La onda se propaga en línea recta, directa, del transmisor al receptor.

# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

El modo de propagación depende de la frecuencia de la onda

- **Las propiedades de la Tierra** y las distintas capas de la atmósfera afectan el modo de propagación de las ondas de radio, según su **frecuencia**.
- **Las fórmulas para medir** los efectos son complejas por naturaleza; por lo que algunas reglas básicas resultan útiles para entender y planear la propagación de ondas de radio:
  - ▶ **A frecuencias más bajas**, el alcance es mayor, la onda es más penetrante y rodea más obstáculos.
  - ▶ **A frecuencias más altas**, se transmite una mayor cantidad de datos.
- **Según el orden de frecuencia**, de baja a alta, las ondas de radio pueden tomar 3 trayectorias básicas de propagación a través del espacio libre.
- **Las ondas** que estén más cerca de la superficie de la Tierra se verán más afectadas por las propiedades de la Tierra.

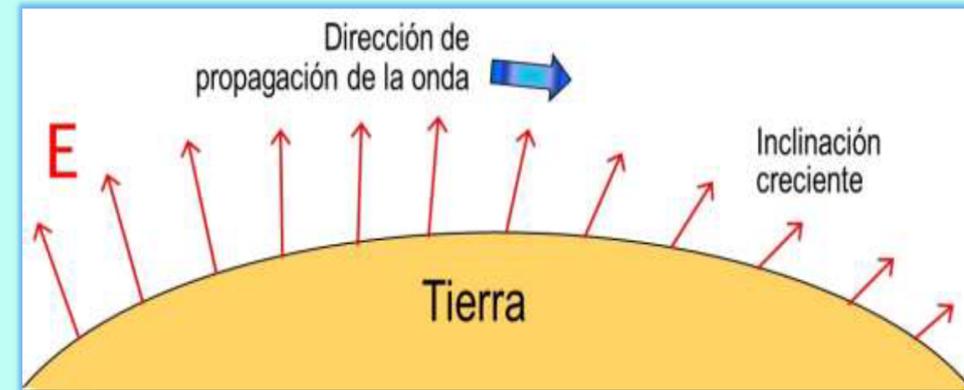
Modos de propagación de ondas		
Hasta 2 MHz	300 kHz a 30 MHz	30 MHz a 30 GHz
Por onda de superficie o terrestre. La onda sigue a la superficie de la Tierra.	Por onda ionosférica. La onda se refracta en las capas ionizadas de la atmósfera.	Por onda espacial o línea de vista. La onda se propaga en línea recta, directa, del transmisor al receptor.

# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Propagación por onda de superficie (Blake, 2004)

- **Ondas de frecuencias de hasta 2 MHz.**
- **Descripción**
  - **Es una onda polarizada** de manera vertical (**campo E** vertical) que sigue a la superficie de la Tierra y, por tanto, sigue su curvatura para propagarse más allá del horizonte.
- **Aplicación**
  - **Da buenos resultados** en comunicaciones de larga distancia, tiene gran estabilidad, aunque le afecte mucho el tipo de terreno.
  - **Se utiliza** en la banda de **radiodifusión AM** estándar (530 a 1.700 kHz).
  - **Las ondas de superficie** requieren potencias altas y grandes antenas (por su  $\lambda$ ) para lograr buena eficiencia.



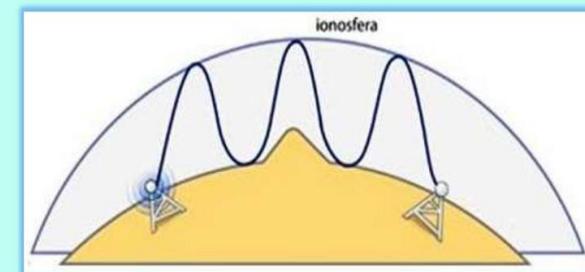
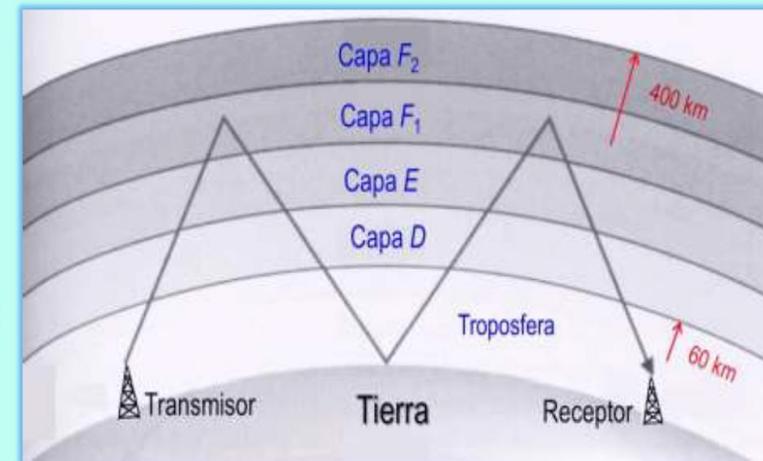
# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Propagación por onda ionosférica

(Blake, 2004)

- **Ondas de frecuencias de entre 300 kHz y 30 MHz.**
- **Descripción**
  - **La onda se refracta** en las **capas ionizadas** de la atmosfera; allí las moléculas de aire se ionizan por la radiación solar. Estas capas están entre 60 y 400 km de altura.
  - **La propagación en el día** (mayor ionización) es posible para las frecuencias entre **10 MHz y 30 MHz**. Son refractadas a Tierra por las capas  $F_1$  y  $F_2$ .
  - **La propagación en la noche** (menor ionización) es posible para las frecuencias **menores que 10 MHz**. Son refractadas a Tierra por las capas  $F_1$  y  $F_2$ .
- **Aplicación**
  - **Se utiliza** en comunicaciones de barcos y aviones y radioaficionados; además de la radiodifusión de onda corta.
  - **Tiene gran alcance** pero con poca estabilidad. La onda puede reflejarse desde el suelo y realizar saltos. Es posible hasta **20 saltos**. La máxima distancia de un salto es 3.200 Km. Es posible rodear la Tierra..
  - **Las ondas ionosféricas** requieren niveles de potencia razonables.



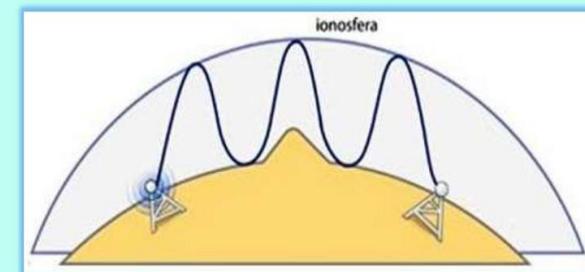
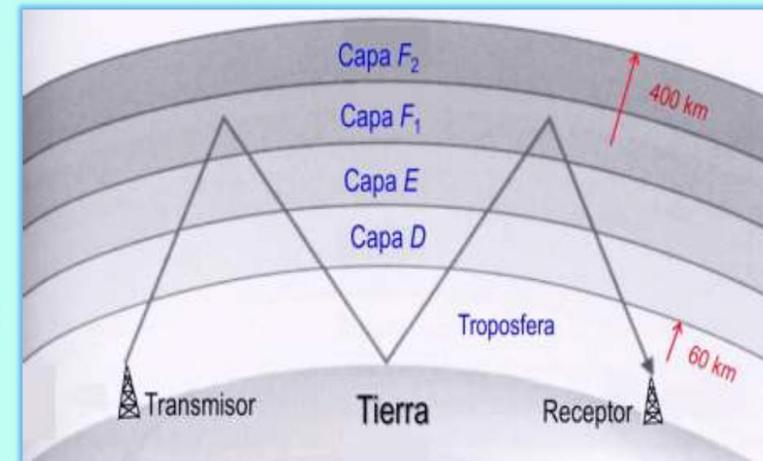
# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Propagación por onda ionosférica

(Blake, 2004)

- **Ondas de frecuencias de entre 300 kHz y 30 MHz.**
- **Descripción**
  - **La onda se refracta** en las **capas ionizadas** de la atmosfera; allí las moléculas de aire se ionizan por la radiación solar. Estas capas están entre 60 y 400 km de altura.
  - **La propagación en el día** (mayor ionización) es posible para las frecuencias entre **10 MHz y 30 MHz**. Son refractadas a Tierra por las capas  $F_1$  y  $F_2$ .
  - **La propagación en la noche** (menor ionización) es posible para las frecuencias **menores que 10 MHz**. Son refractadas a Tierra por las capas  $F_1$  y  $F_2$ .
- **Aplicación**
  - **Se utiliza** en comunicaciones de barcos y aviones y radioaficionados; además de la radiodifusión de onda corta.
  - **Tiene gran alcance** pero con poca estabilidad. La onda puede reflejarse desde el suelo y realizar saltos. Es posible hasta **20 saltos**. La máxima distancia de un salto es 3.200 Km. Es posible rodear la Tierra..
  - **Las ondas ionosféricas** requieren niveles de potencia razonables.



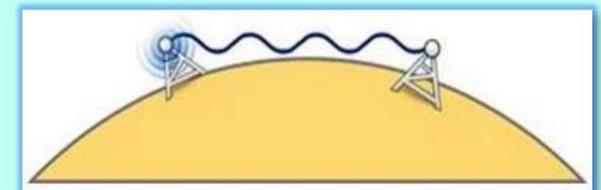
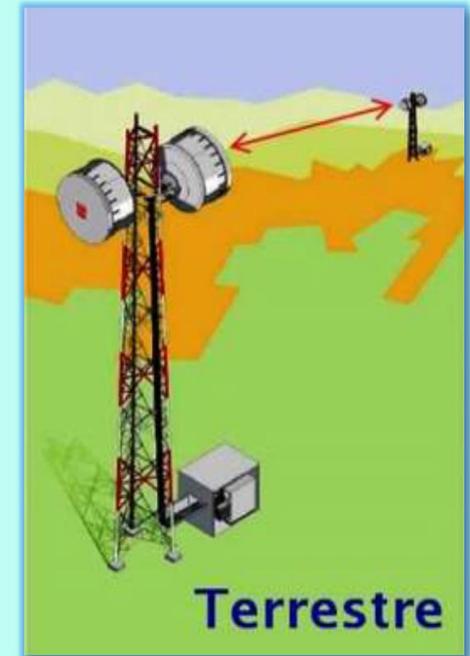
# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Propagación por onda espacial terrestre

(Forouzan, 2007)

- **Ondas de frecuencias de entre 30 MHz y 30 GHz.**
- **Descripción**
  - **Utiliza radiación directa** entre dos antenas a través de la tropósfera. Se la conoce también como propagación por **línea de vista** y **troposférica**.
  - **Pueden haber reflexiones** desde la superficie de la Tierra, pero es más probable que cause problemas a que incremente la intensidad de la señal.
- **Aplicación**
  - **Se utiliza** Se utiliza en radioenlaces por microondas terrestre, telefonía móvil, difusión de televisión terrestre.
  - **Los radioenlaces** por microondas terrestre se explotan entre 2 a 80 GHz. Se llaman así porque ambos terminales, transmisor y receptor, están en Tierra.
  - **La onda espacial** terrestre requiere antenas instaladas a la mayor altura posible.



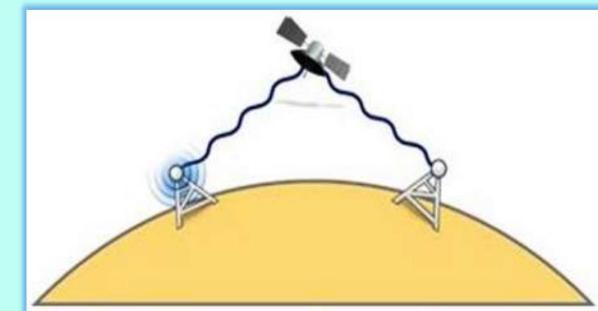
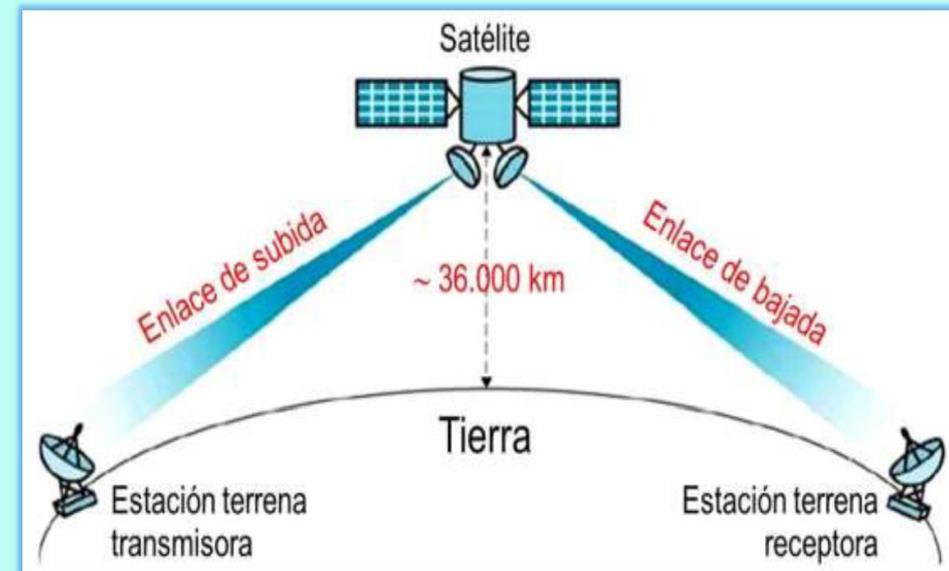
# Modos de propagación de ondas

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Propagación por onda espacial satelital

(Forouzan, 2007)

- **Ondas de frecuencias de entre 30 MHz y 30 GHz.**
- **► Descripción**
  - **Utiliza** radiación directa (línea de vista) entre la antena de la estación terrena y la del satélite. El satélite es un **repetidor** emplazado en el espacio.
- **► Aplicación**
  - **Se utiliza en radioenlaces** por microondas satelital, telefonía móvil satelital, difusión de televisión satelital.
  - **Los radioenlaces** por microondas satelitales se explotan entre 2 a 50 GHz. Se llaman así porque uno de los terminales está en un satélite.
  - **La mayoría de los satélites** de comunicaciones son geoestacionarios.



# Antenas

- Para una radiación eficiente, la antena debe ser más larga que 1/10 de la longitud de onda ( $\lambda$ ). Para 10KHz,  $\lambda$  sería:

$$\lambda = \frac{c}{f_c} \quad \lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{10^4 \text{ Hz}} = 3 \times 10^4 \text{ m}$$

- Al menos 3000m de longitud de antena para transmitir de manera eficiente 10KHz.

# Propagación Ionosférica

- Las ondas se refractan de manera gradual en la ionósfera y responde a la expresión:

$$n = \sqrt{1 - \frac{81 \cdot N}{f^2}}$$

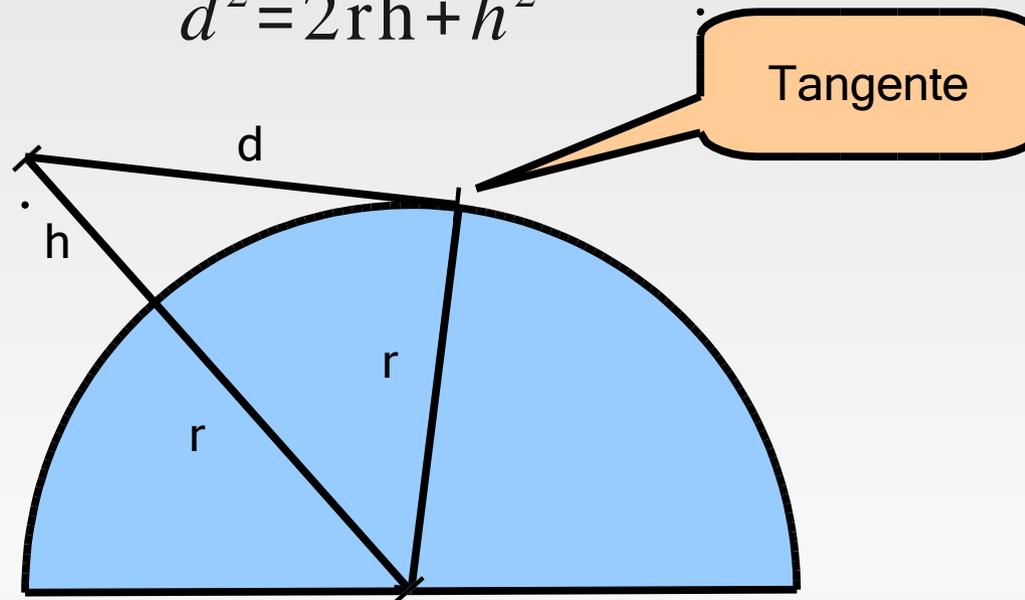
- Con  $n$  índice de refracción,  $N$  cantidad de electrones libres por metro cúbico (alrededor de  $10^{12}$ ) y  $f$  es la frecuencia en Hz.
- Esta propagación es solamente LOS para frecuencias mayores a 30MHz.  $f^2 \gg 81 \cdot N$

# Propagación LOS

- La propagación LOS requiere que las antenas se vean por encima del horizonte.

$$d^2 + r^2 = (r + h)^2$$

$$d^2 = 2rh + h^2$$



# Propagación LOS

- El radio de la tierra es de 6373km pero por efecto de la atmósfera es de 8497km (4/3)
- Esto da para nuestro cálculo:

$$d = \sqrt{(2 \cdot r \cdot h)}$$

- Para una antena de TV de 300m de altura, cuánto vale d?
- Si un espectador en el borde de cobertura tiene una antena a 10m de altura, cuál es la distancia máxima a la que puede ubicarse?

# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Alcance de la trayectoria

(Stallings, 2007)

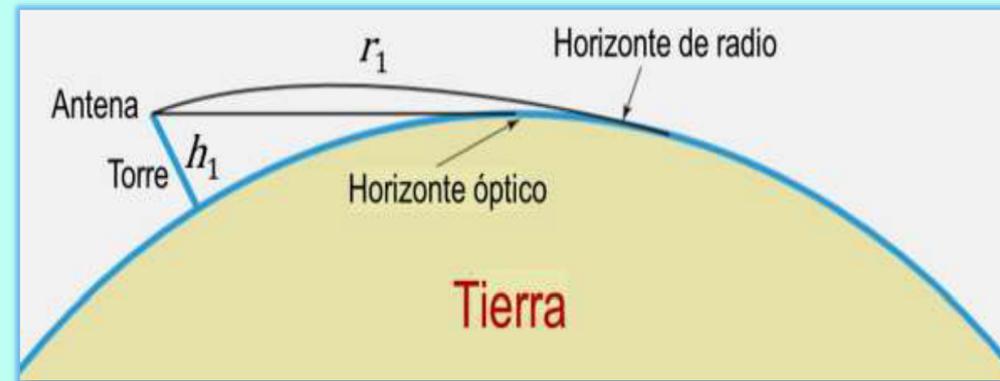
- **¿Cómo se calcula?**
- **La onda espacial** utiliza radiación directa entre dos antenas a través de la tropósfera. Debe disponer de la potencia necesaria para cruzar una distancia dada y tener condiciones de **visibilidad directa**.
- **La distancia de comunicación** está limitada por la **curvatura de la Tierra**. Se calcula con base a la geometría de la Tierra y la altura en que está la antena transmisora: el **horizonte óptico**.

$$r_1(\text{km}) = \sqrt{12,74 h_1(\text{m})}$$

- **En la práctica**, la distancia va más allá del horizonte óptico debido a que la refracción en la atmósfera, originada por diferencias de densidades, tiende a curvar la onda hacia Tierra. Este efecto posibilita que llegue una distancia 1/3 veces mayor, al **horizonte de radio**.

$$r_1(\text{km}) = \sqrt{12,74 K h_1(\text{m})} = \sqrt{17 h_1(\text{m})}$$

- **Estas ecuaciones** son válidas para un terreno razonablemente plano.



$r_1$  = distancia del transmisor al horizonte. En **km**.  
 $h_1$  = altura en que está la antena transmisora. En **m**.  
 $K \approx 4/3$ , factor de corrección.

# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

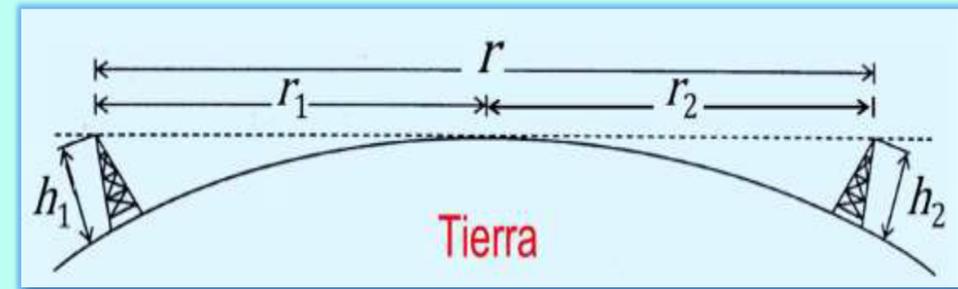
### Alcance de la trayectoria (cont.)

(Stallings, 2007)

- **¿Cómo se calcula la distancia máxima?**
- **En el cálculo** de la distancia máxima se incluye la altura en que está la antena receptora, por lo que se consideran las distancias al horizonte de radio de cada antena.

$$r_1(\text{km}) = \sqrt{17h_1(\text{m})}$$

$$r_2(\text{km}) = \sqrt{17h_2(\text{m})}$$



- **Entonces**, se obtiene un valor aproximado para la **distancia máxima** entre antena transmisora y receptora, sobre un terreno razonablemente plano.

$$r(\text{km}) = \sqrt{17h_1(\text{m})} + \sqrt{17h_2(\text{m})}$$

$r$  = distancia máxima entre antenas. En **km**.  
 $h_1$  = altura en que está la antena transmisora. En **m**.  
 $h_2$  = altura en que está la antena receptora. En **m**.

- **A veces** la distancia se amplía por difracción, si hay obstáculos afilados en el trayecto.

# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Ejemplos de alcance de la trayectorias

(Blake, 2004) (Stallings, 2007)

- **Ejemplo 1. Alcance de trayectoria.** Una compañía de taxis, ha instalado, en su oficina central, una antena en la parte superior de una torre de 15 m de altura. Las antenas de los taxis están sobre sus techos, más o menos a 1,5 m del suelo. Calcule la distancia de comunicación máxima:

- a) Entre la central y un taxi.
- b) Entre dos taxis.

$$r(\text{km}) = \sqrt{17h_1(\text{m})} + \sqrt{17h_2(\text{m})}$$

- a)  $r = 21 \text{ km}$
- b)  $r = 10 \text{ km}$

- **Ejemplo 2. Estación de radio FM.** Una estación de radiodifusión FM tiene una antena transmisora puesta a 50 m sobre el nivel del terreno. Calcule qué tan lejos se puede recibir la señal:

- a) Por una radio de automóvil con una antena a 1,5 m del suelo.
- b) Por una antena de techo puesta a 12 m sobre el nivel del suelo.

- a)  $r = 34,2 \text{ km}$
- b)  $r = 43,4 \text{ km}$

- **Ejemplo 3. Estación de TV.** Calcule la altura a la cual debe estar la antena de una estación de TV terrestre para que su cobertura sea de 50 Km a la redonda.

$h_1 = 118,9 \text{ m}$ . (las antenas de televisores están a 1,5 m del suelo).

- **Ejemplo 4. Enlace de microondas.** Un enlace de microondas tiene la antena transmisora a 100 m de altura y la receptora al nivel del suelo, es decir a 0 m. Calcule la altura a la que se puede bajar la antena transmisora si la receptora se eleva a 10 m sobre el nivel del suelo, para alcanzar la misma distancia.

$$h_1 = 47 \text{ m}$$

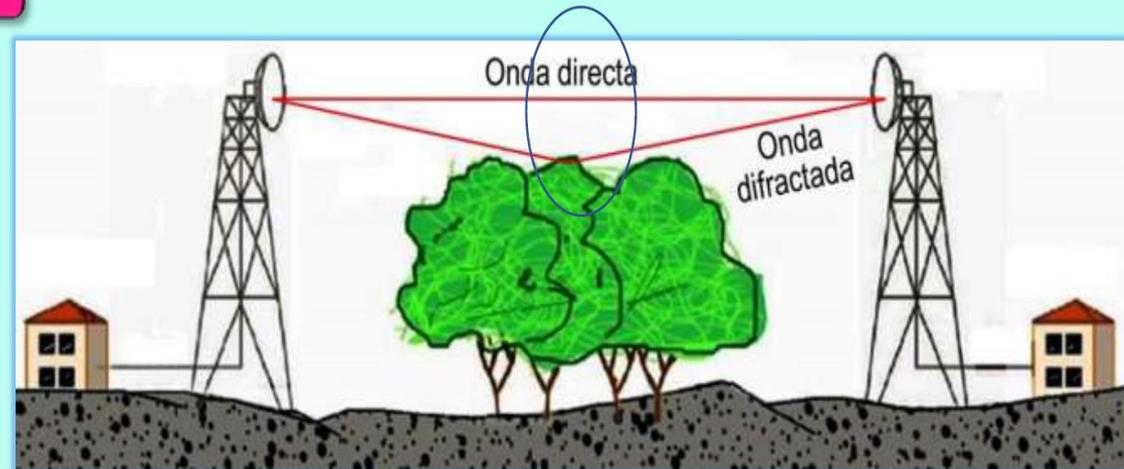
# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Obstrucción parcial de la línea de vista

(APC, 2007)

- **¿Por qué no es suficiente tener una línea de vista?**
- **La antena es el foco** primario de un frente de onda que se expande.
- **Si el frente de onda** en expansión incide en una montaña, un árbol o un edificio, ocurre la **difracción**. Según Huygens, el punto incidente actúa como una segunda fuente de esa onda, generando una onda difractada.
- **Las ondas** directa y difractada se suman en el receptor, pero debido a la diferencia en la longitud de trayectoria de ambas, la interferencia puede ser:
  - ► **Constructiva**, si ambas ondas están en fase.
  - ► **Destrucción**, si están fuera de fase, es decir podrían cancelarse parcialmente entre sí, produciendo el desvanecimiento de la onda.
- **Para que la potencia** de la onda difractada disminuya y la interferencia sea menos pronunciada, se debe incrementar el espacio entre la trayectoria directa y el objeto que difracta la onda.
- **Un radioenlace** necesita, por tanto, una línea de vista y un “poco de espacio alrededor” ¿Cuánto?



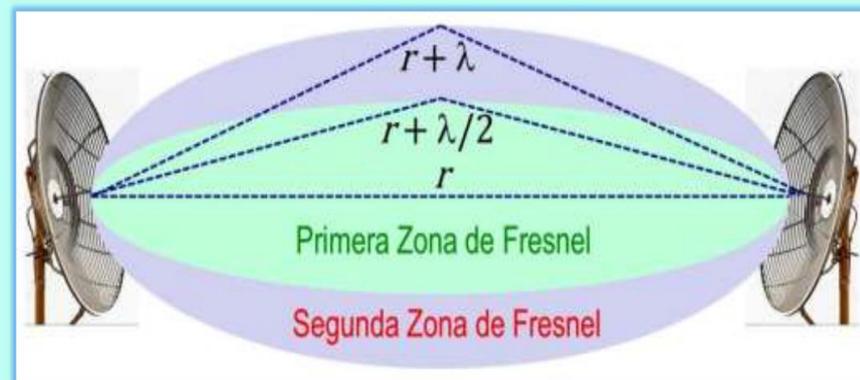
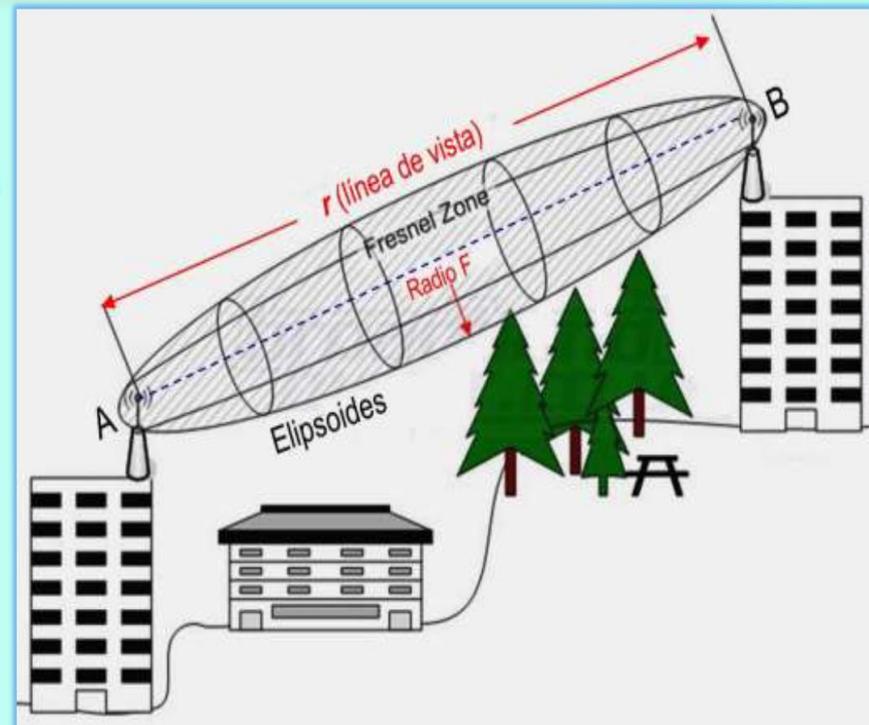
# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### ¿Qué son las Zonas de Fresnel?

(APC, 2007)

- **Las zonas de Fresnel** se pueden imaginar como una familia de elipsoides en 3D con focos en las antenas. Todas tienen la misma distancia  $r$  entre antenas, pero cada una dispone de un **radio F** al centro (a la línea de vista) cada vez mayor.
- **La idea**, que fue bautizada en honor a Fresnel, consiste en determinar qué zona del espacio entre emisor y receptor debe estar libre para evitar en la medida de lo posible la interferencia destructiva de la onda difractada.
- **Una onda** que se refleja en la superficie de un elipsoide, recorre una distancia mayor en **múltiplos de  $\lambda/2$**  y se desfasa en **múltiplos de  $180^\circ$** . El valor del múltiplo determina la primera, segunda, etc., zona de Fresnel.
- **Existen** muchas zonas de Fresnel, pero la que interesa es la **primera**, porque contiene el 50% de la potencia de la onda.
- **Si la primera zona de Fresnel** se encuentra libre de obstáculos, el nivel de recepción será equivalente al obtenido en el espacio libre.
- **Por tanto**, un radioenlace necesita una línea de vista y un “poco de espacio alrededor”, definido por la primera zona de Fresnel. ¿Cómo se calcula el radio F1?



# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

(Blake, 2004)

### Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel

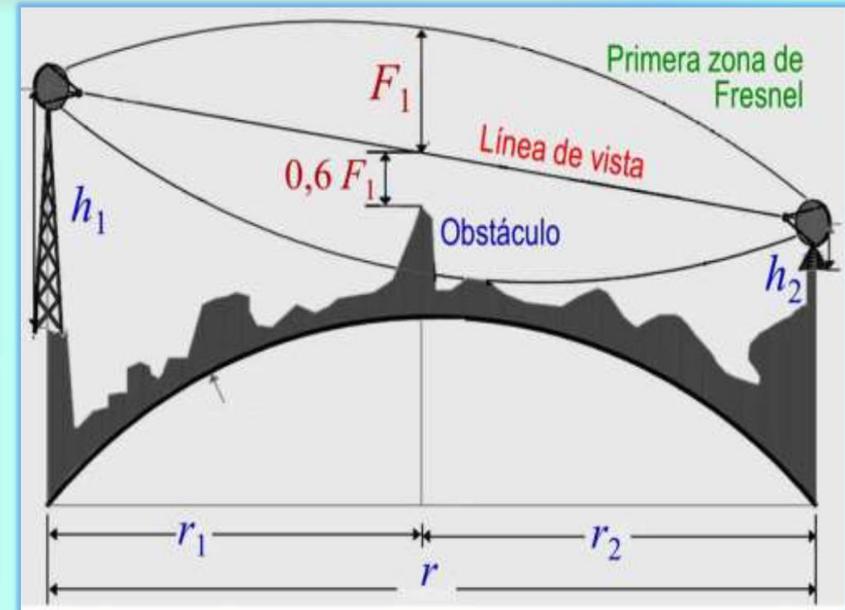
- El radio  $F_1$  en cualquier punto del elipsoide de la primera zona de Fresnel se calcula en función de la ubicación del obstáculo y la frecuencia de operación.

$$F_1(\text{m}) = 17,32 \sqrt{\frac{r_1(\text{km})r_2(\text{km})}{r(\text{km})f(\text{GHz})}}$$

$F_1$  = radio de la primera zona de Fresnel. En m.  
 $r_1, r_2$  = distancia de la antena al obstáculo. En km.  
 $r$  = distancia entre antenas. En km.  
 $f$  = frecuencia de operación del sistema. En GHz.

- En la práctica, para que el nivel de recepción sea equivalente al obtenido en el espacio libre, es suficiente tener libre al menos el 60% de la primera zona de Fresnel a lo largo de todo el trayecto.
- La teoría de Fresnel examina a la línea de vista punta a punta.
- Ejemplo 5. Interferencia por difracción.** Un radioenlace por línea de vista que opera a una frecuencia de 6 GHz tiene una separación de 40 km entre antenas. Un obstáculo en la trayectoria se sitúa a 10 km de la antena transmisora. Calcule el claro que debe existir entre la trayectoria directa y el obstáculo.

$$0.6F_1 = 11,62 \text{ m.}$$



## Zonas de Fresnel



# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

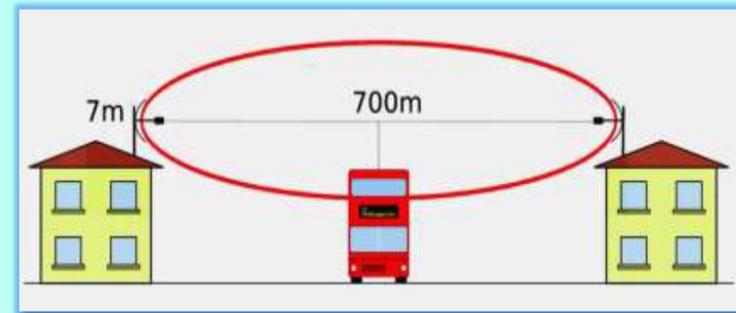
### Ejemplos con la primera zona de Fresnel

(Twibrights Labs)

$$F_1(m) = 17,32 \sqrt{\frac{r_1(\text{km})r_2(\text{km})}{r(\text{km})f(\text{GHz})}}$$

- **Ejemplo 6. Obstrucción por un camión.** Caso de enlace WLAN de 2,4 GHz. Calcule la altura máxima que puede tener el camión para que no afecte al enlace. El camión se encuentra a la mitad de la trayectoria.

$$h = 4,2 \text{ m.}$$



- **Ejemplo 7. Obstrucción por el suelo.** Caso de enlace WLAN de 2,4 GHz. Determine si el funcionamiento del enlace es el adecuado.

No, porque las antenas deben estar a 5.8 m.



- **Ejemplo 8. Obstrucción por un árbol.** Caso de enlace WLAN de 2,4 GHz. Calcule la altura máxima que puede tener el árbol para que no afecte al enlace. El árbol se encuentran a 400 m de la antena más cercana.

$$h = 6,41 \text{ m.}$$



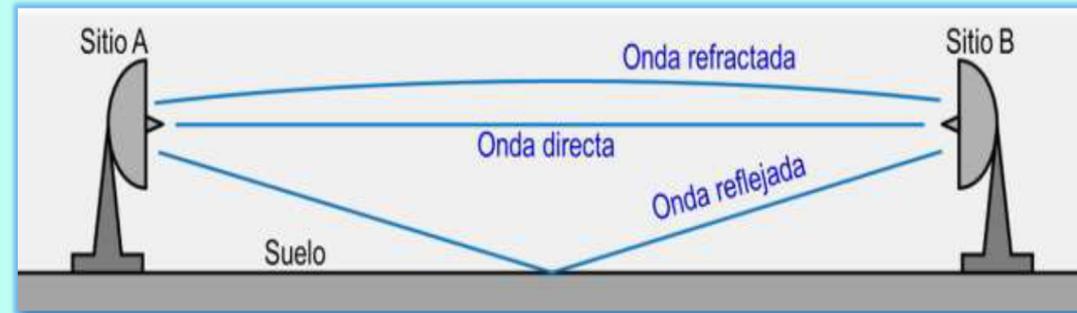
# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### ¿Por qué se produce la multitrayectoria?

(Blake, 2004) (Stallings, 2007)

- **Un radioenlace** se planifica con una línea de vista libre de obstáculos; sin embargo, debido a la refracción y a la reflexión, se reciben también múltiples copias de la onda con diferentes retardos.
- **La refracción**, causada por la atmosfera, “dobla” a Tierra la trayectoria de la onda que se expande. Produce la **onda refractada**.
- **La reflexión** es causada por la superficie del suelo o el agua. Produce la **onda reflejada**.
- **La onda resultante** será mayor o menor que la directa, dependiendo de la diferencia en la longitud de los trayectos de la onda directa y de las refractadas y reflejadas, es decir habrá una amplificación o anulación parcial (**desvanecimiento**) de la onda.
- **Ejemplo 10. Distorsión por multitrayectoria.** Una onda de telefonía móvil a 1.9 GHz llega a una antena vía dos trayectorias que difieren en longitud por 19 m. Calcule:
  - a) La diferencia en el tiempo de llegada para las dos trayectorias.
  - b) La diferencia de fase entre las dos ondas. (Sugerencia:  $360^\circ$  es lo mismo que  $0^\circ$  con respecto a la fase, así que se pueden ignorar los múltiplos de  $360^\circ$ )



$$\lambda = \frac{c}{f}$$

a)  $\Delta t = 63,3 \text{ ns}$   
b)  $\Delta \theta = 120^\circ$

# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### ¿Cómo se puede controlar el desvanecimiento de la onda?

(Blake, 2004)

- **Existen** dos métodos básicos para tratar con el desvanecimiento por multitrayectoria.
- ▶ **1. Sobre construir el sistema.** Se incrementa la potencia del transmisor, la ganancia de las antenas o la sensibilidad del receptor, para obtener un **margen de desvanecimiento** de, por lo menos, **20 dB**.
- ▶ **1. Técnicas de diversidad.**
  - **Diversidad de frecuencia.** Utiliza 2 frecuencias. La diferencia, en  $\lambda$ 's, entre las longitudes de las trayectorias es diferente para cada frecuencia. Requiere 2 transmisores y 2 receptores separados en frecuencia, por lo menos en un **5%**.
  - **Diversidad de espacio.** Utiliza 2 antenas montadas una sobre otra en la misma torre. La diferencia entre las longitudes de las trayectorias es diferente para cada antena. Requiere que las antenas estén separadas **200  $\lambda$**  o más.
  - **No se pueden** aplicar estas técnicas cuando la superficie reflectora es el **agua**, debido a que el viento la mantiene en movimiento.



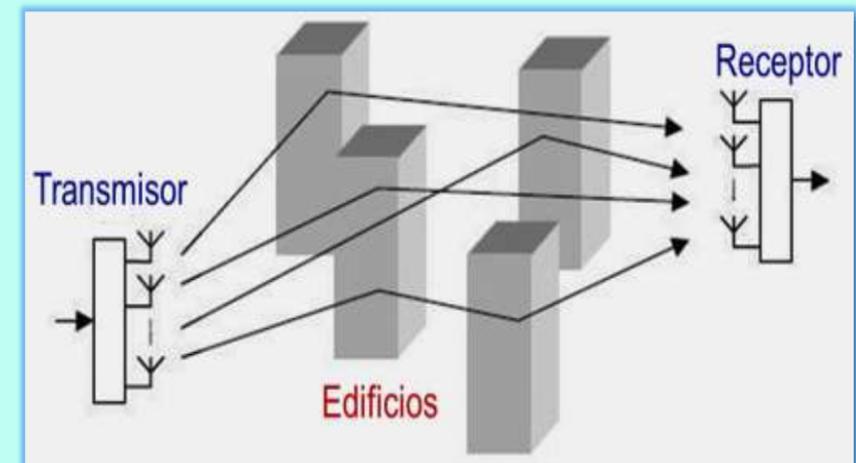
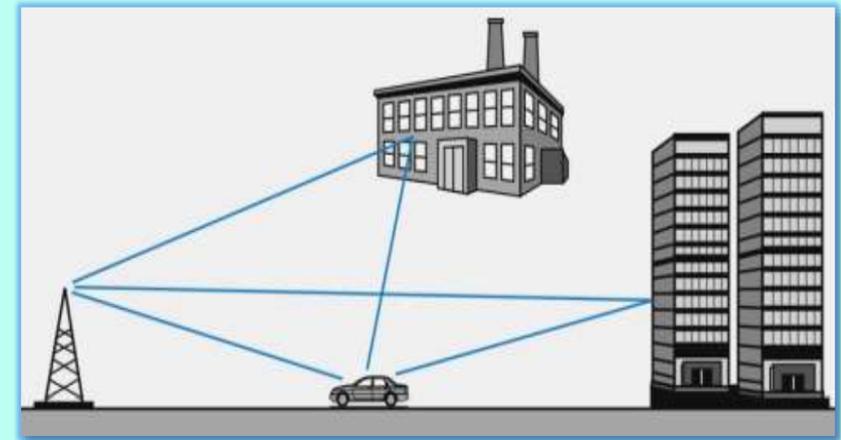
# Línea de vista de onda espacial

## PROPAGACIÓN DE ONDA EN EL ESPACIO LIBRE

### Multitrayectoria en comunicaciones móviles

- **En comunicaciones móviles**, la multitrayectoria es primordial. Las superficies reflectoras las proporcionan los rasgos estructurales y topográficos del ambiente. Los efectos se controlan con sistemas de antenas inteligentes.
- **▶ Antenas inteligentes.** Controlan la amplitud y fase de las ondas recibidas, hasta obtener una óptima recepción y superar, inclusive, los límites de la línea de vista cuando se dispone de suficiente potencia.
- **▶ MIMO. Múltiple Input Múltiple Output** es una tecnología de antenas inteligentes que utiliza varias antenas en el transmisor y en el receptor. Capitaliza los beneficios de la multitrayectoria y de la diversidad de espacio para conseguir un mayor alcance del que se consigue con sistemas tradicionales.
- **MIMO** se utiliza hoy en redes WiFi (4, 5 y 6) y en tecnologías 4G y 5G: WiMAX Advanced y LTE Advanced. Un enlace sin línea de vista es posible.

(Blake, 2004) (Stallings, 2007)



# Propagación LOS

- La distancia a la que puede llegar una señal **depende también del transmisor y el receptor**
- El transmisor **entrega una potencia al medio** a través de la antena
- El receptor tiene una **sensibilidad mínima**, una señal con potencia menor no puede ser decodificada
- Además, la señal debe ser recibida con una cierta **potencia por encima del ruido** para ser decodificada.

# Propagación LOS



TX  $P_t$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

RX  $P_r$

# Propagación LOS

En resumen:

- La distancia de propagación LOS está limitada por la curvatura de la tierra
- El tamaño de la antena está relacionado con la longitud de onda de la señal a transmitir.
- La potencia del transmisor y la sensibilidad del receptor definen también el alcance de una señal LOS

# Clasificación de los Sistemas de Telecomunicación

---

- Según el medio físico de transporte de señales, los sistemas pueden clasificarse principalmente como de cable, fibra óptica o radioeléctricos.
- Según el tipo de usuarios, en sistemas punto a punto o punto multipunto. Por ejemplo, la telefonía y la radiodifusión sonora.
- Según el tipo de comunicación, en unidireccionales o bidireccionales.
- Según la banda de frecuencia en sistemas de banda estrecha o banda ancha.

# Clasificación de los Sistemas de Telecomunicación

---

- Sistemas de cable o fibra óptica. Utilizan como medio físico de transporte de las señales algunos de las siguientes:
  - Línea abierta: Formada por uno o más hilos conductores. Si son dos hilos se designan como línea de pares, si está formada por cuatro hilos, se conoce como cuadrete. Se utiliza principalmente en telefonía, telegrafía y transmisión de datos a baja velocidad.
  - Cable telefónico de pares múltiples. Consiste de un cable protegido contra la intemperie y usualmente apantallado o blindado eléctricamente, en cuyo interior se confinan muchos pares de hilos.

# Clasificación de los Sistemas de Telecomunicación

---

- ▣ Cable coaxial: formado por un conductor rodeado por una funda metálica y aislado de ella, que actúa como pantalla electromagnética contra señales externas. Se utiliza en sistemas de banda ancha, como telefonía multicanal, televisión y transmisión de datos a elevada velocidad.
- ▣ Fibra óptica: aunque el principio físico de funcionamiento es completamente diferente al de los cables anteriores, el tipo de servicio es semejante y puede considerarse como un medio de transmisión por cable. Se emplea en sistemas de banda ancha y sus prestaciones son, en general, muy superiores a la de los cables metálicos.

# Sistemas radioeléctricos

---

- Por radio se entiende la transmisión de señales a través del espacio, mediante ondas electromagnéticas, sin que haya conexión física entre transmisor y receptor. El medio de propagación de las ondas electromagnéticas es, en este caso, el aire o el vacío. En el trabajo con sistemas radioeléctricos es frecuente emplear el término radiofrecuencia (RF), y por tal, se entiende la frecuencia a la que la radiación de energía electromagnética es útil para propósitos de comunicación. Así, las radiofrecuencias abarcan desde unos pocos KHz hasta más de 100 GHz.

# Espectro Radioeléctrico

---

- Los sistemas de telecomunicación utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y abarca, desde frecuencias inferiores a 1 KHz hasta alrededor de 300 GHz.

# Espectro Radioeléctrico

---

Abreviatura	Significado	Frecuencias	Longitud de onda	Designación
ELF	Extra-low freq.	0.3 a 3 KHz.	1000 a 100 Km	Megamétricas
VLF	Very-low freq.	3 a 30 KHz	100 Km a 10 Km	Miriamétricas
LF	Low frequency	30 a 300 KHz	10 Km a 1 Km	Kilométricas
MF	Medium freq.	300 a 3000 KHz	1000 m a 100m	Hectométricas
HF	High frequency	3 a 30 MHz	100 m a 10 m	Decamétricas
VHF	Very-high freq.	30 a 300 MHz	10 m a 1 m	Métricas
UHF	Ultra-high freq.	300 a 3000 MHz	1 m a 10 cm	Decimétricas
SHF	Super-high freq.	3 a 30 GHz	10 cm a 1 cm	Centimétricas
EHF	Extra-high freq.	30 a 300 GHz	10 mm a 1 mm	Milimétricas

# Tipos de Servicios.

---

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones, los tipos de servicios de radiocomunicación que se asignan en las diferentes bandas se definen como sigue:

- **Servicios fijos.** Son servicios de radiocomunicación entre puntos fijos específicos.
  - Por ejemplo, circuitos de alta frecuencia punto a punto y radioenlaces de microondas.
  -
- **Servicios móviles.** Servicios de radiocomunicación entre estaciones que pueden utilizarse cuando están en movimiento, paradas en lugares no especificados, o bien entre estaciones móviles y estaciones fijas.
  -
- **Servicio móvil aeronáutico.** Servicios de radiocomunicación entre estaciones terrestres y aeronaves o entre aeronaves.
  -
- **Servicio móvil marítimo.** Servicios de radiocomunicación entre estaciones costeras y barcos o entre barcos navegando.
  -
- **Servicio móvil terrestre.** Servicios de radiocomunicación entre una estación de base y una estación terrestre móvil, o entre estaciones móviles terrestres.

# Tipos de servicios

---

- **Radionavegación.** Servicios para determinar la posición de naves mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.
- **Radionavegación aérea.** Servicios de radionavegación para la navegación aérea, por ejemplo: VOR, Tacan, radiofaros, sistemas de aterrizaje por instrumentos, radio-altímetros, radares de indicación de obstrucciones, etc.
- **Radionavegación marítima.** Servicios de radionavegación para la navegación marítima, por ejemplo: radiofaros costeros, estaciones de radiolocalización, radares a bordo, etc.
- **Radiolocalización.** Servicios para determinación de la posición de naves con propósitos diferentes a los de navegación, por ejemplo: radares terrestres, radares costeros, sistemas de seguimiento, etc.

▫

# Tipos de servicios

---

- **Radiodifusión.** Servicios de radiocomunicación cuyo propósito es la recepción directa por el público en general. Como ejemplos pueden citarse la radiodifusión en ondas medias (AM), frecuencia modulada (FM) y Televisión.
- **Radioficionados.** Servicios de radiocomunicación llevados a cabo por personas interesadas en las técnicas radioeléctricas, únicamente por interés personal y sin interés comercial alguno.
- **Espaciales.** Servicios de radiocomunicación entre estaciones o vehículos espaciales.

# Tipos de servicios

---

- **Tierra-espacio.** Servicios de radiocomunicación entre estaciones terrestres y estaciones o vehículos espaciales, por ejemplo, la comunicación entre una estación terrestre y un satélite.
- **Radioastronomía.** Astronomía basada en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico.
- 
- **Estándares de frecuencia.** Transmisiones de radio de frecuencias específicas y alta precisión, cuyo propósito es la recepción con fines científicos, técnicos o de otra índole.

# Telecomunicaciones

## Tutorías para Examen de Título Área de Telecomunicaciones

### Sesión 1.2: Parámetros de antenas y Cálculo de radioenlace terrestre