

TEMA 1- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES



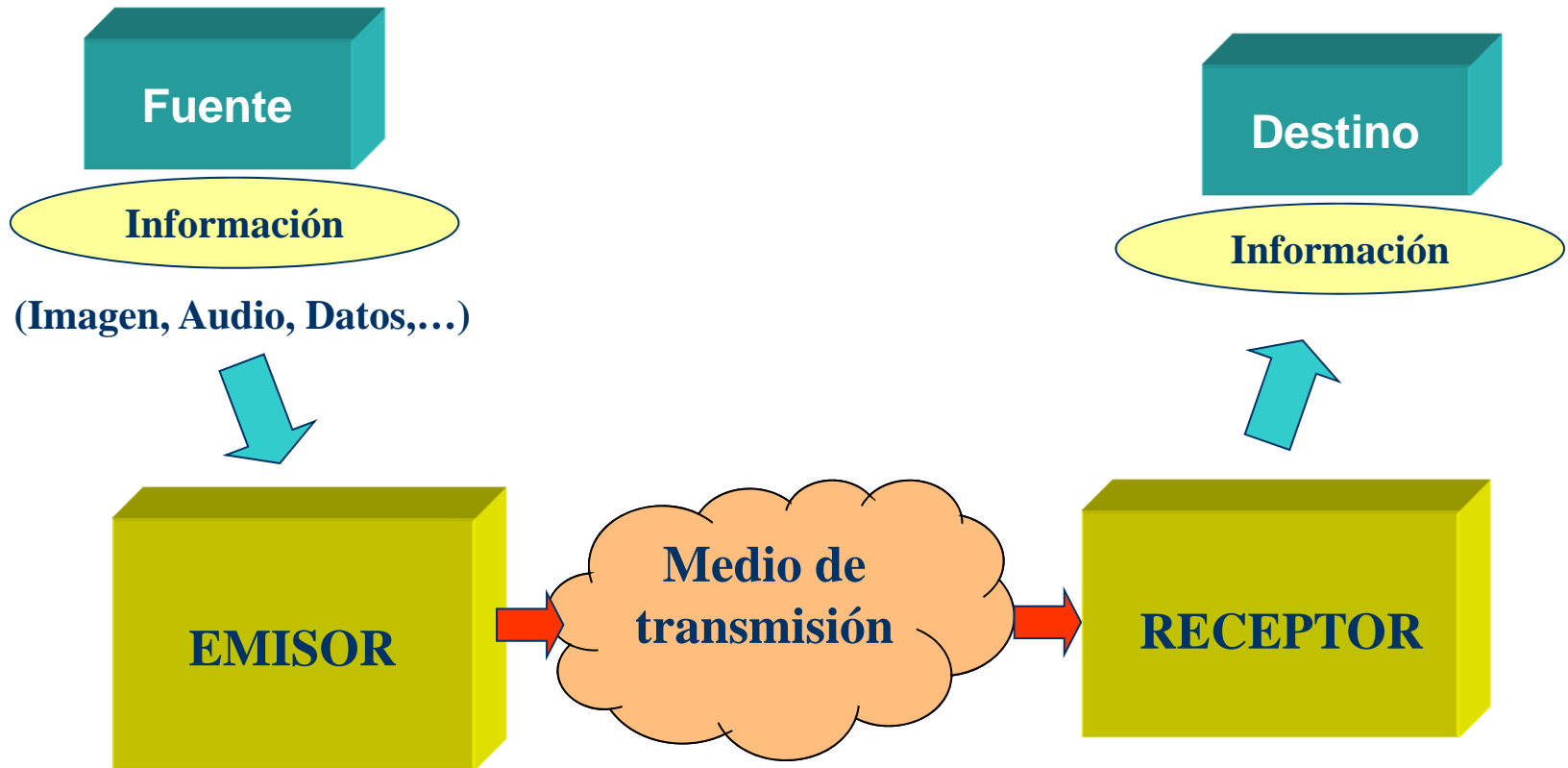
EMISSORS I RECEPTORS

Jordi Pérez Romero
Anna Umbert Juliana

Índice

- Sistemas de comunicaciones
 - Arquitectura OSI de ISO
- Indicadores de calidad de un sistema de comunicaciones.
 - Concepto de Calidad de Servicio (QoS)
 - Tasa de error: BER, BLER, FER
 - Retardo y “jitter” del retardo
 - Conceptos de E_b/N_0 y SNR
 - Técnicas para mejorar la tasa de error: codificación de canal y entrelazado
- Sistemas de comunicaciones radio: Gestión del espectro radioeléctrico
 - Bandas de frecuencia
 - Técnicas de acceso múltiple
 - Técnicas de duplexado

Sistemas de comunicaciones



Sistemas de comunicaciones

- **EMISOR:**

- Adapta la informació a enviar para que pueda ser transmitida a través del medio de transmisión.

- **RECEPTOR:**

- Recupera la señal de información enviada a través de la señal que ha atravesado el medio de transmisión.

- **MEDIO DE TRANSMISIÓN:**

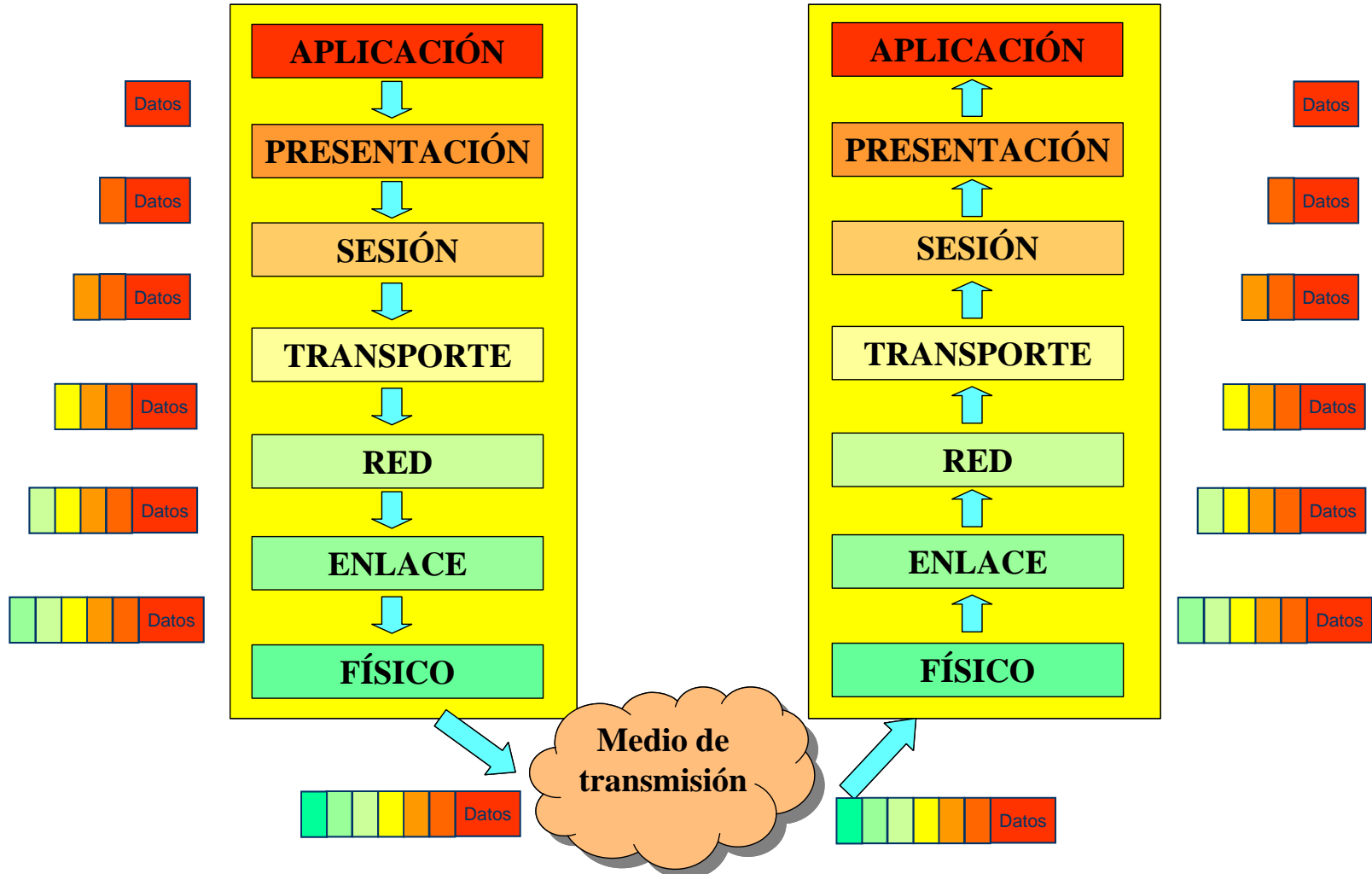
- Soporte físico a través del cual la señal de información viaja de un extremo al otro.
- Tenderá a degradar la calidad de la señal recibida introduciendo ruido y distorsión.
- Puede incluir diferentes enlaces o saltos entre los dos extremos (e.g. enlace radio, enlaces entre nodos intermedios, etc.)

Arquitectura OSI de ISO (I)

- Modelo de Referencia OSI de ISO:

- En comunicaciones digitales es habitual organizar la comunicación extremo a extremo siguiendo el **Modelo de Referencia OSI** (Open Systems Interconnection) **realizado por la ISO** (International Standards Organisation).
- Estructura de **7 niveles**, definida a finales de los años 1970s.
- Cada una de las capas constituye un paso en la adaptación de la información para poder ser enviada, mediante el añadido de ciertos bits de control.

Arquitectura OSI de ISO (II)



Arquitectura OSI de ISO (III)

Niveles dependientes de la red:

1. **Nivel Físico:** describe las propiedades físicas de los diferentes medios de transmisión, y las propiedades eléctricas y de interpretación de las señales transmitidas. Por ejemplo: el tamaño del cable coaxial, el tipo de conector usado, potencia de transmisión, modulación.
2. **Nivel de Enlace:** describe la organización lógica de los bits de información transmitidos en un determinado medio. Por ejemplo: se encarga de la detección de errores, la gestión de las retransmisiones y la estructura de tramas (framing).
3. **Nivel de Red:** describe como establecer y liberar un camino entre dos entidades de una red. Por ejemplo: se encarga de enrutar los paquetes por la red.

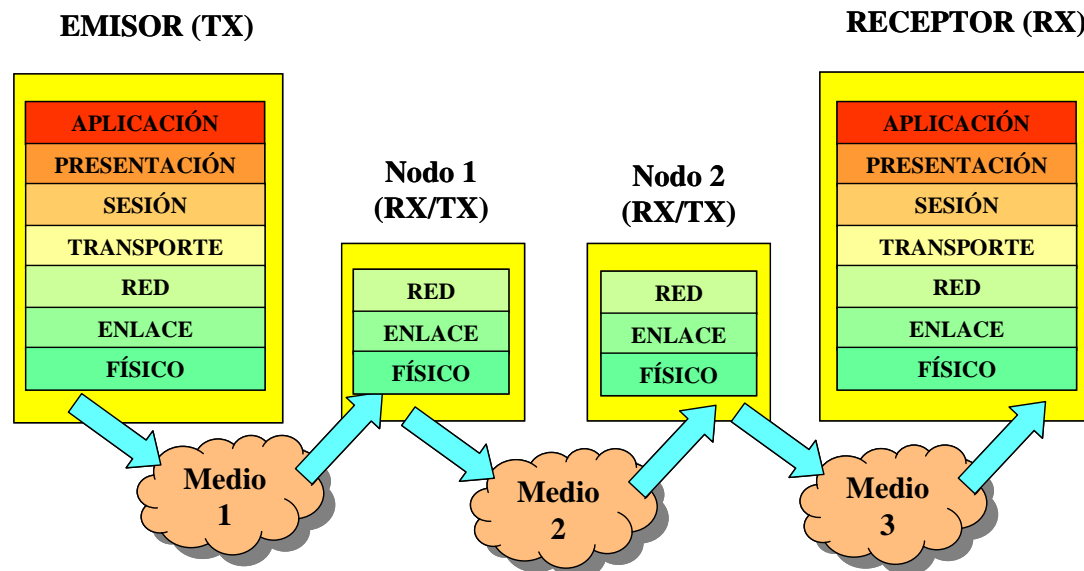
Arquitectura OSI de ISO (IV)

Niveles orientados a aplicación:

4. **Nivel de Transporte:** describe como se realiza la conexión extremo a extremo. Por ejemplo: se encarga de la segmentación y nuevo montaje y de controlar el flujo de datos para garantizar la entrega de la información.
5. **Nivel de Sesión:** describe como establecer y eliminar una comunicación entre dos aplicaciones. Por ejemplo: este nivel describe como los paquetes de petición y su respuesta se emparejan en una llamada.
6. **Nivel de Presentación:** describe la representación o sintaxis de los datos transferidos. Por ejemplo: describe como los números con punto flotante se deben intercambiar entre dos máquinas con formatos matemáticos diferentes.
7. **Nivel de Aplicación:** describe el interfaz con el usuario. Por ejemplo: este nivel implementará las operaciones con los ficheros del sistema.

Arquitectura OSI de ISO (V)

- Sobre el anterior modelo de referencia existen las siguientes particularidades:
 - En el caso de que el medio de transmisión extremo a extremo incorpore varios saltos la anterior estructura se repite en cada uno de los nodos atravesados, aunque en general estos nodos solamente incluyen las capas más bajas:



- En ciertos servicios es posible que no todas las capas estén presentes (ejemplo: transferencias de ficheros ftp directamente pasan del nivel de aplicación al de transporte)

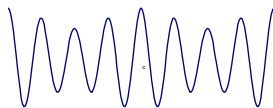
Indicadores de calidad de un sistema de comunicaciones (I)

- El objetivo de cualquier sistema de emisión y recepción es entregar la información transmitida al usuario final.

- Imagen



- Audio



- Datos

1 0 0 0 1 1 1 0 1 0

...



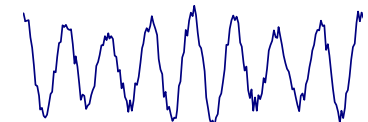
EMISOR

Medio de
transmisión

- Imagen*



- Audio*



- Datos*

1 1 0 0 1 1 0 0 1 0

...



RECEPTOR

Indicadores de calidad de un sistema de comunicaciones (II)

- Debido a las degradaciones introducidas por el medio de transmisión y por los elementos de los subsistemas emisor y receptor, la señal entregada no tiene por qué coincidir exactamente con la enviada.
- En función del tipo de servicio de telecomunicaciones asociado a la transmisión existirán diferentes degradaciones máximas tolerables por el usuario final.



Concepto de **CALIDAD DE SERVICIO (QoS)**

Concepto de Calidad de Servicio (QoS) – (I)

- El término QoS refleja diferentes aspectos relacionados con cómo el usuario final percibe el servicio recibido.
- Algunas definiciones:
Según ETSI: “**The collective effect of service performance which determines the degree of satisfaction of a user of the service**”
Según IETF: “**A set of service requirements to be met by the network while transporting a flow**”
- La QoS suele finalmente trasladarse en términos de parámetros objetivos y cuantificables que permiten medir el grado de satisfacción del usuario.
- Estos parámetros son dependientes del servicio en cuestión.

Concepto de Calidad de Servicio (QoS) – (II)

Ejemplos:

a) Servicio de voz:

- Para que la señal recibida sea audible, el número de bits erróneos recibidos debe mantenerse acotado
- Para poder mantener una conversación, el retardo total en entregar la información debe estar acotado



Tasa de
error
máxima



Retardo
máximo

b) TV digital (TDT):

- Para que la señal recibida se pueda reproducir correctamente, el número de bits erróneos debe mantenerse acotado.



Tasa de
error
máxima

Concepto de Calidad de Servicio (QoS) – (III)

c) Transferencia de un fichero:

- Para poder abrir el fichero correctamente en el receptor, la tasa de error debe ser 0.
- En contraposición, el retardo permitido puede ser elevado.



Tasa de
error =0

d) Envío de una película:

- Tasa de error debe ser acotada.
- Debe mantenerse una cierta cadencia en la información entregada al usuario



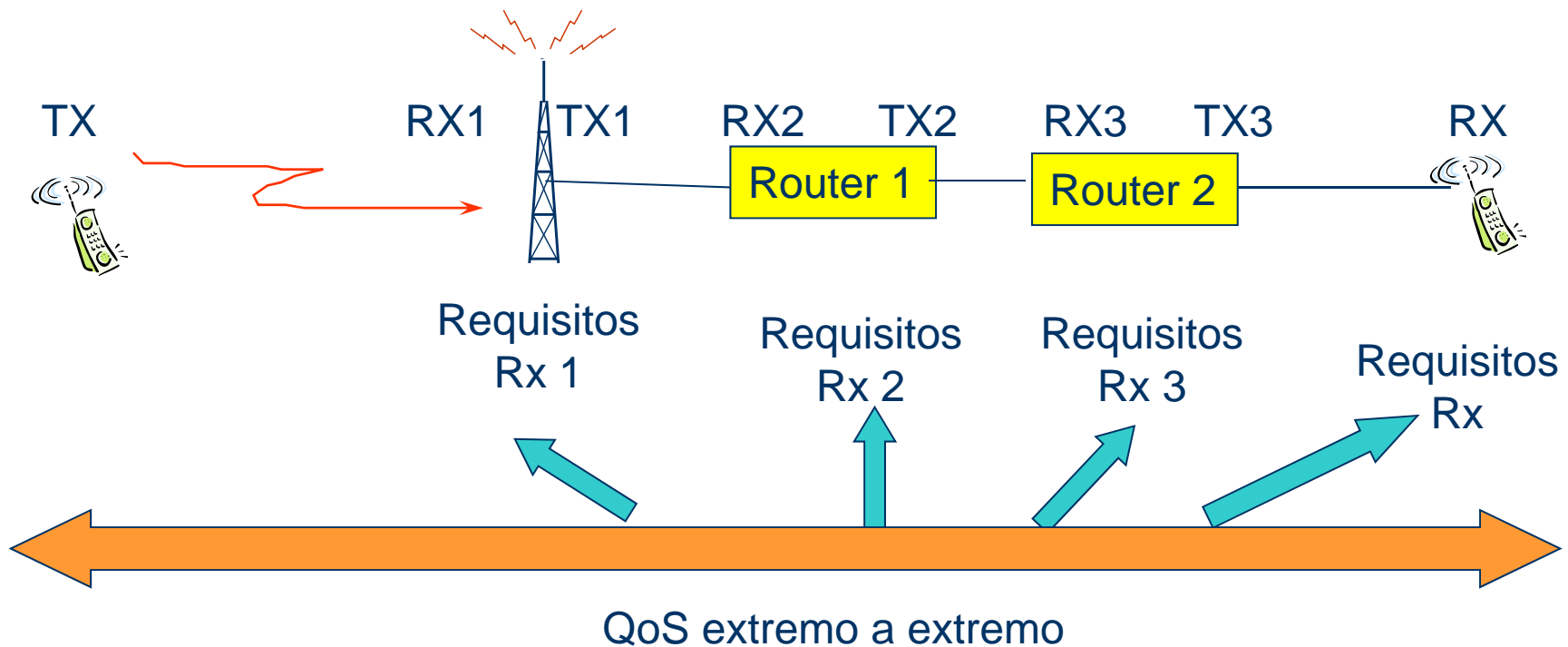
Tasa de
error
máxima



Velocidad de
transmisión
(b/s) mínima

Concepto de Calidad de Servicio (QoS) – (IV)

- Los requerimientos de QoS influyen en el diseño de la comunicación extremo a extremo, esto es, sobre los diferentes nodos existentes en la comunicación.



Parámetros de QoS: Velocidad de transmisión

- **Velocidad de transmisión (b/s):** Medida del número de bits enviados por unidad de tiempo. Se puede medir en los diferentes niveles OSI (e.g. velocidad de transmisión de la aplicación, velocidad de transmisión a nivel físico incluyendo todos los bits adicionales para transportar señalización, sincronismo, etc.).



Estará relacionada con el **período de bit** ($R_b = 1/T_b$) empleado por la modulación y con el **ancho de banda total** de la señal transmitida. Finalmente, de acuerdo con la cota de Shannon se puede relacionar con **la relación señal a ruido**.

Cota de Shannon: límite máximo de la capacidad en b/s de un canal dada una cierta SNR:

$$R_b (b / s) = B (Hz) \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Parámetros de QoS: Tasa de error

- **BER (Bit Error Rate):** Tasa de error de bit, medida como el número de bits erróneos sobre el número de bits totales transmitidos.
- **BLER (Block Error Rate):** Tasa de error de bloque, medida como el número de bloques con algún bit erróneo respecto del número de bloques totales enviados. Aplicable en caso de que los bits se agrupen en bloques, algo habitual en sistemas de comunicación digitales (e.g. bloques entregados por un codificador de voz, etc.).

También se la suele denominar **FER (Frame Error Rate)**.



Ambos parámetros se podrán relacionar con la **relación señal a ruido**.

Parámetros de QoS: Retardo y Jitter

- **Retardo:** Medida del tiempo necesario para efectuar la transmisión de un conjunto de bits de información (e.g. bloque). Se puede medir a diferentes niveles, en función de la correspondiente capa OSI (e.g. retardo de paquete MAC, paquete IP, paquete HTTP).
- Se puede medir en términos de **retardo medio**, en términos de la **desviación típica (Jitter)** o bien en términos de la **distribución estadística** (e.g. percentil 95, correspondiente al retardo únicamente excedido en el 5% de los casos).



El retardo se podrá vincular con una cierta **velocidad de transmisión** en cada uno de los enlaces de la comunicación extremo a extremo, así como con la **probabilidad de error de bloque o bit**, que determinará la necesidad de efectuar **retransmisiones**.

Por lo tanto, finalmente también se podrá relacionar con la **relación señal a ruido** existente.

Relación SNR y Eb/No (I)

- Relación señal a ruido:**

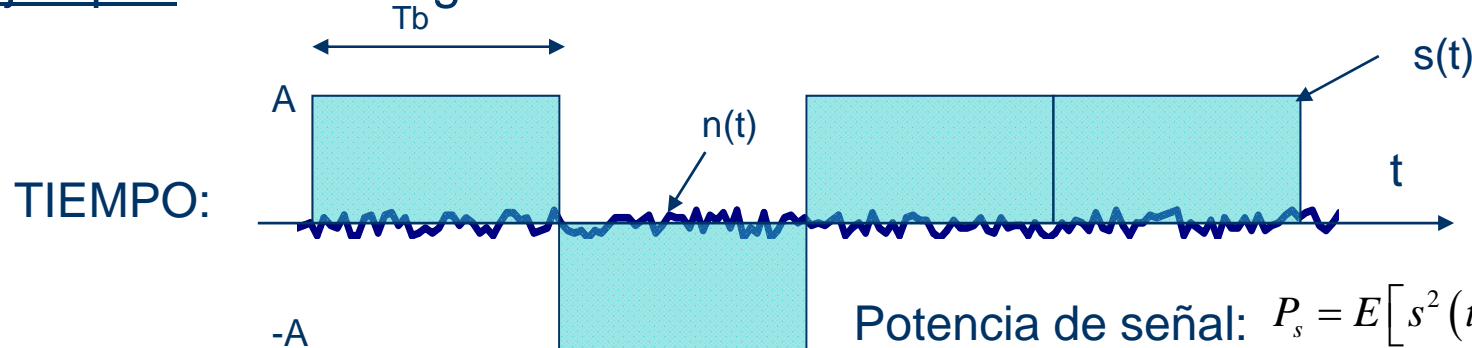
$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n}$$

$$P_s(W) = E[s^2(t)] / R$$

$$P_n(W) = E[n^2(t)] / R$$

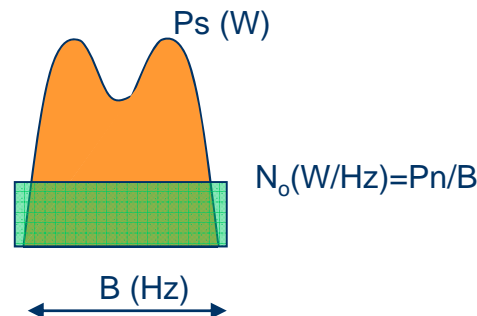
R: resistencia sobre la que se mide la tensión

Ejemplo: señales digitales



Energía de bit: $E_b = P_s T_b$

FRECUENCIA:



Relación SNR y Eb/No (II)

- En el caso de señales digitales, se suele expresar la relación energía de bit sobre densidad espectral de ruido:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P_s T_b}{P_n / B} = \left(\frac{S}{N} \right) T_b B \approx \left(\frac{S}{N} \right) \frac{T_b}{T_s} = \left(\frac{S}{N} \right) \frac{1}{m}$$

T_b : Período de bit. Tasa de transmisión: $R_b=1/T_b$ bits/s

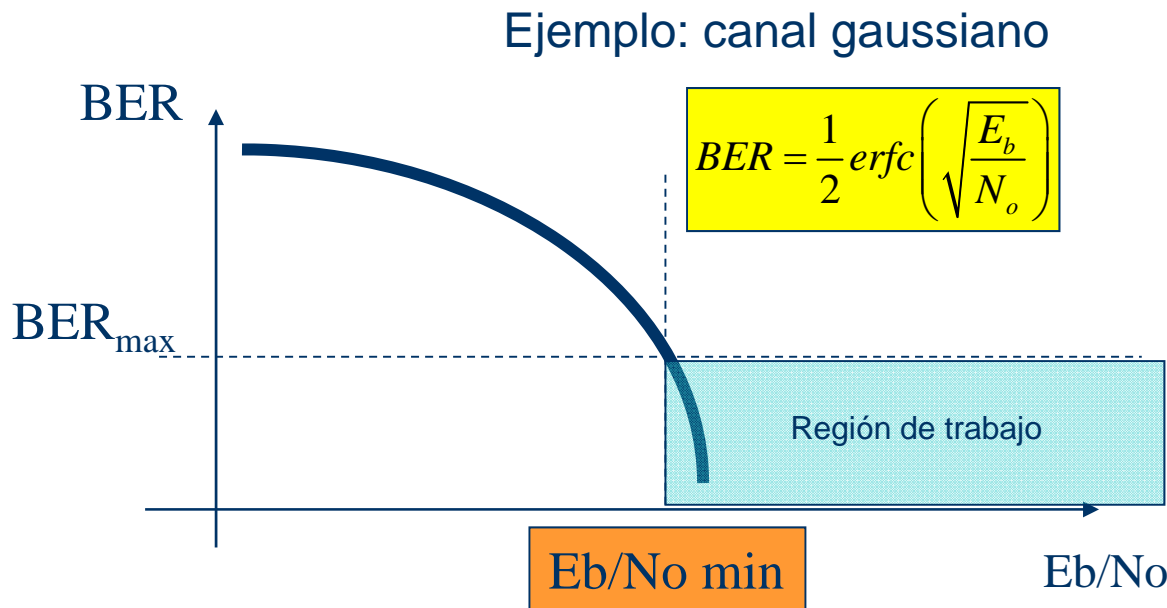
T_s : Período de símbolo $T_s=mT_b$

B : Ancho de banda de la señal transmitida. $B \approx 1/T_s$

m : Número de bits por símbolo (e.g. BPSK: $m=1$, QPSK: $m=2$, 16-QAM: $m=4$, etc.)

Relación entre BER y E_b/N_o (III)

- En función de las características de la modulación, así como de la estadística de la señal recibida, afectada por el canal, se puede obtener una relación entre las prestaciones obtenidas a la salida del receptor y la E_b/N_o a su entrada:



Así, a partir de un requisito de QoS en términos de BER, se puede obtener un requerimiento de E_b/N_o mínimo para el receptor.

Equivalentemente se puede ver como un requisito de S/N min.

Codificación de canal (I)

OBJETIVO: Añadir redundancia a la información transmitida, de modo que en recepción se pueda utilizar para detectar y corregir errores en los bits recibidos.

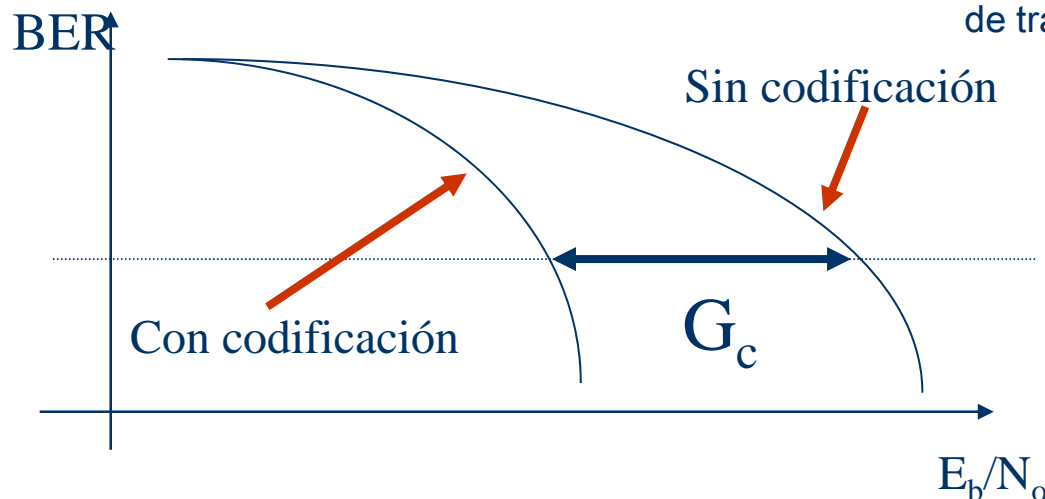
Tasa del código: $r=k/n$

Velocidad de transmisión: $R=R_b/r$
(R_b : velocidad sin codificar)

Bits útiles: k bits

Bits totales enviados: n bits
(redundancia de $n-k$ bits)

Cuanto menor sea r más potente es el código, pero necesitamos mayor velocidad de transmisión (más ancho de banda)



Gracias a la codificación de canal se puede conseguir una cierta tasa de error con una E_b/N_o más baja !!!

Codificación de canal (II)

Existen diferentes tipos según cómo se genere la redundancia a partir de los bits útiles.

- Códigos bloque:

Utilizan un mapeo fijo entre palabras de k bits y palabras resultantes de n bits
Ejemplos: Códigos FIRE, BCH, Reed Solomon

- Códigos convolucionales:

Generan los bits codificados a través de procesar los bits útiles mediante un registro de desplazamiento con una cierta memoria.

- Turbocódigos:

Combinan dos códigos convolucionales y un proceso intermedio de entrelazado.

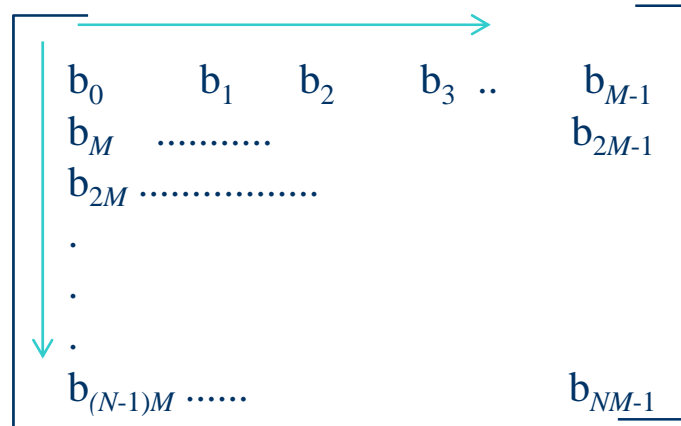
Son códigos muy potentes, que consiguen reducir enormemente la tasa de error.

Codificación de canal y entrelazado (I)

Motivación: En el caso de que aparezcan muchos bits erróneos consecutivos (ráfagas) debido a que el canal se encuentra en mal estado, la capacidad correctora del código puede no ser suficiente.

Solución: **ENTRELAZADO:** consiste en reordenar los bits enviados, de modo que a la entrada del decodificador en recepción bits consecutivos en el canal estén suficientemente separados.

En el emisor los bits generados a la salida del codificador se introducen por orden de llegada en una matriz de N filas x M columnas, rellenando la matriz por filas.



Una vez rellena la matriz, ésta se lee, por columnas, y se envían los bits al canal. En recepción se efectúa el proceso inverso (escribir por columnas y leer por filas).

Codificación de canal y entrelazado (II)

EMISIÓN:

Bits generados a la salida del codificador:

$b_0, b_1, \dots, b_M, b_{M+1}, \dots, b_{2M-1}, b_{2M}, b_{2M+1}, \dots, b_{3M-1}, b_{3M}, b_{3M+1}, \dots, b_{4M-1}, b_{4M}, b_{4M+1}, \dots, b_{NM-1}$

Bits enviados al canal (salida del entrelazado):

$b_0, b_M, b_{2M}, b_{3M}, b_{4M}, \dots, b_{(N-1)M}, b_1, b_{M+1}, \dots, \dots, b_{NM-1}$

Salida del canal (suponiendo que introduce 4 errores consecutivos):

$b_0, \cancel{b_M}, \cancel{b_{2M}}, \cancel{b_{3M}}, \cancel{b_{4M}}, \dots, b_{(N-1)M}, b_1, b_{M+1}, \dots, \dots, b_{NM-1}$

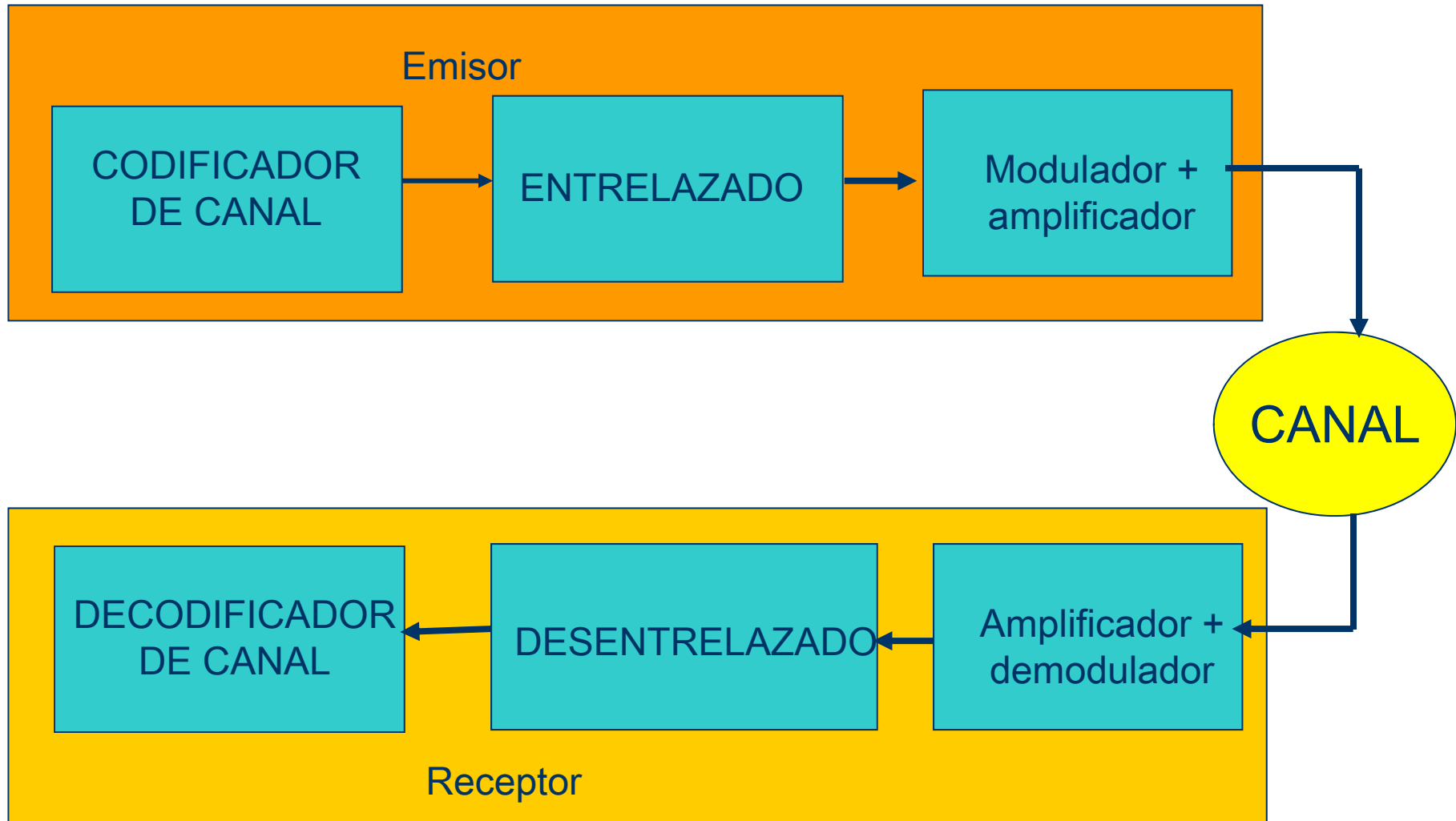
RECEPCIÓN:

Salida del desentrelazado:

$b_0, b_1, \dots, \cancel{b_M}, b_{M+1}, \dots, b_{2M-1}, \cancel{b_{2M}}, b_{2M+1}, \dots, b_{3M-1}, \cancel{b_{3M}}, b_{3M+1}, \dots, b_{4M-1}, \cancel{b_{4M}}, b_{4M+1}, \dots, b_{NM-1}$

Los bits erróneos ya no son consecutivos!! (decodificador podrá corregirlos con facilidad)

Codificación de canal y entrelazado (III)



Codificación de canal y entrelazado (IV)

Consideraciones de diseño sobre la matriz de entrelazado:

1.- El número de filas N debe ser superior a la duración típica de las ráfagas de errores consecutivos ($T_{\text{ráfaga}}$) introducida por el canal:

$$NT_b > T_{\text{ráfaga}}$$

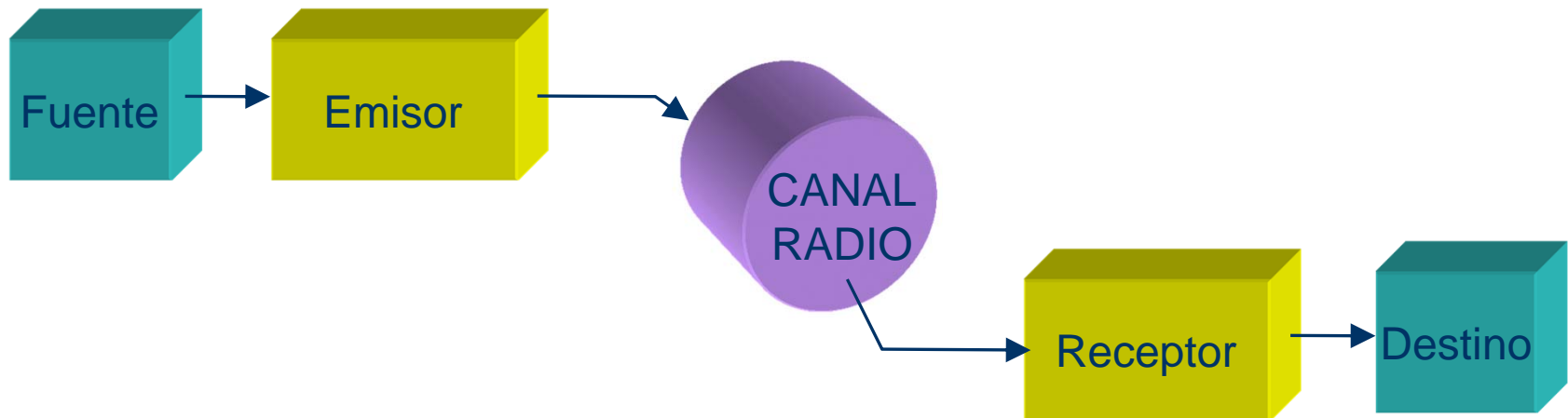
↑
Separación en la transmisión al canal de dos bits generados consecutivamente por el codificador (e.g. b_0 y b_1)

2.- El retardo total en entrelazar y desentrelazar debe ser inferior al máximo tolerado por cada aplicación (T_{max}):

$$2NMT_b < T_{\text{max}}$$

Sistemas de comunicación por radio (I)

- De acuerdo con el modelo OSI, en esta asignatura nos centraremos en técnicas de **diseño de la capa física en emisores y receptores considerando un medio de transmisión vía radio**



Sistemas de comunicación por radio (II)

- **Radiocomunicación:**

Telecomunicación realizada por medio de las ondas radioeléctricas

- **Ondas radioeléctricas** (definición según ITU):

Ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija, convencionalmente, en 3000 GHz.

La técnica de la **transmisión por radio** consiste en superponer la información a transmitir sobre una onda electromagnética de soporte, denominada **portadora**, mediante el proceso denominado **modulación**.

Gestión del espectro radioeléctrico

- El **espectro radioeléctrico es un recurso escaso de la naturaleza**, por lo que debe optimizarse su uso de modo que lo puedan utilizar el mayor número posible de estaciones, con un mínimo de perturbaciones mutuas.
- La gestión del espectro debe tener un **carácter internacional**, regulado principalmente por la ITU-R (International Telecommunications Union) y coordinado entre los diferentes países.
- El espectro se subdivide en **bandas de frecuencias**, las cuales se atribuyen a los diferentes servicios radioeléctricos de acuerdo con las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (WRC). La última fue el 2007 en Ginebra, y la próxima esta prevista para el 2012.
- En el ámbito español el **Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias** (CNAF) refleja la atribución de las diferentes bandas de frecuencias a los distintos servicios de radiocomunicaciones, especifica su uso y realiza previsiones de espectro sobre futuros usos potenciales. Se publica en el BOE. Última versión de 12 febrero de 2010.

Bandas de frecuencias

- Se definen un total de 9 bandas:

Banda (N)	Símbolos	Frecuencias	Designación
4	VLF	3 a 30 KHz	Miriamétricas
5	LF	30 a 300 KHz	Kilométricas
6	MF	300 a 3000 KHz	Hectométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Métricas
9	UHF	300 a 3000 MHz	Decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Milimétricas
12	WHD	300 a 3000 GHz	Decimilimétricas

En general, la banda N se extiende de $0.3 \cdot 10^N$ Hz hasta $3 \cdot 10^N$ Hz

Ejemplos de atribuciones de bandas a servicios

España

Frecuencias	Servicio
325 a 405 KHz	Radionavegación aeronáutica
1625 a 1635 KHz	Radiolocalización
87.5 a 108 MHz	Radiodifusión (FM)
880 a 915 MHz 925 a 960 MHz	Móvil (GSM)
1920 a 1980 MHz 2110 a 2170 MHz	Móvil (UMTS-FDD)

Uso del espectro radioeléctrico

- Una vez se ha definido la banda del espectro a la que un sistema va a trabajar quedan dos aspectos por resolver:
 - ¿Cómo regular el acceso compartido de los múltiples usuarios a la banda de frecuencias asignada?
 - **TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE**
 - ¿Cómo diferenciar las transmisiones en los dos sentidos de una comunicación bidireccional ?
 - **TÉCNICAS DE DUPLEXADO**

Técnicas de acceso múltiple (I)

- Permiten compartir una porción de espectro radioeléctrico entre varios usuarios.
- Son procedimientos de asignación de canales físicos.
- Se basan en la capacidad de separar las señales de diferentes usuarios en el receptor. Dicha separabilidad se puede conseguir en tanto que las señales sean **ortogonales**.

Técnicas de acceso múltiple (II)

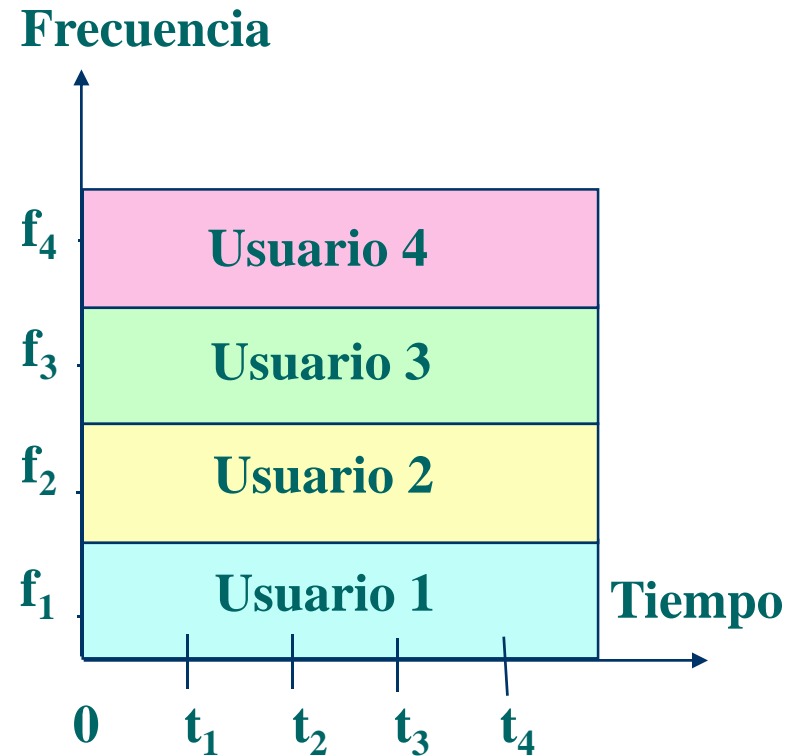
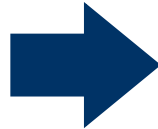
- Las técnicas más utilizadas en radiocomunicaciones son:
 - **FDMA**: Acceso Múltiple por División en Frecuencia
 - **TDMA**: Acceso Múltiple por División en Tiempo
 - **CDMA**: Acceso Múltiple por División en Código
 - **OFDMA**: Acceso Múltiple por División en Frecuencia Ortogonal

La elección de una u otra técnica depende del tipo de modulación utilizada y de la naturaleza (analógica ó digital) de la información a transmitir.

FDMA (Frequency Division Multiple Access)-(I)

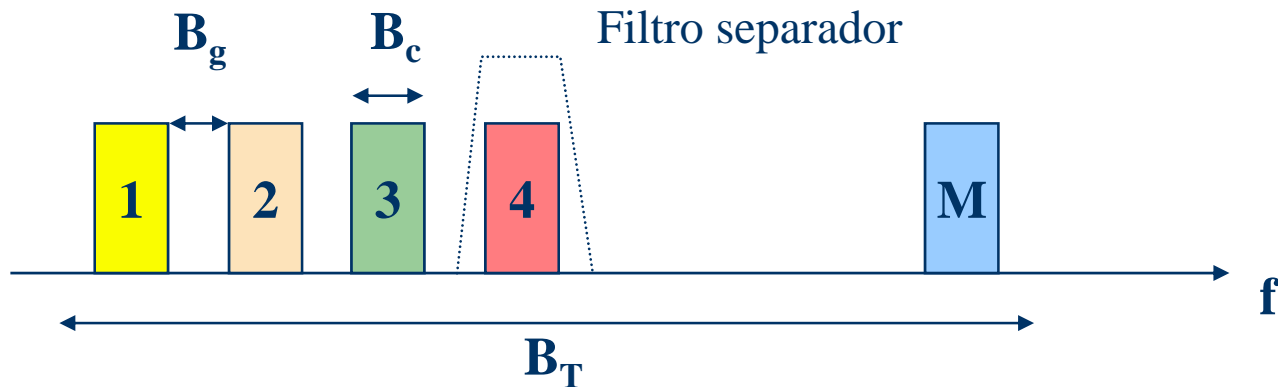
- Se basa en la segmentación en radiocanales de la banda disponible.

A cada usuario se le asigna un radiocanal



FDMA (Frequency Division Multiple Access)-(II)

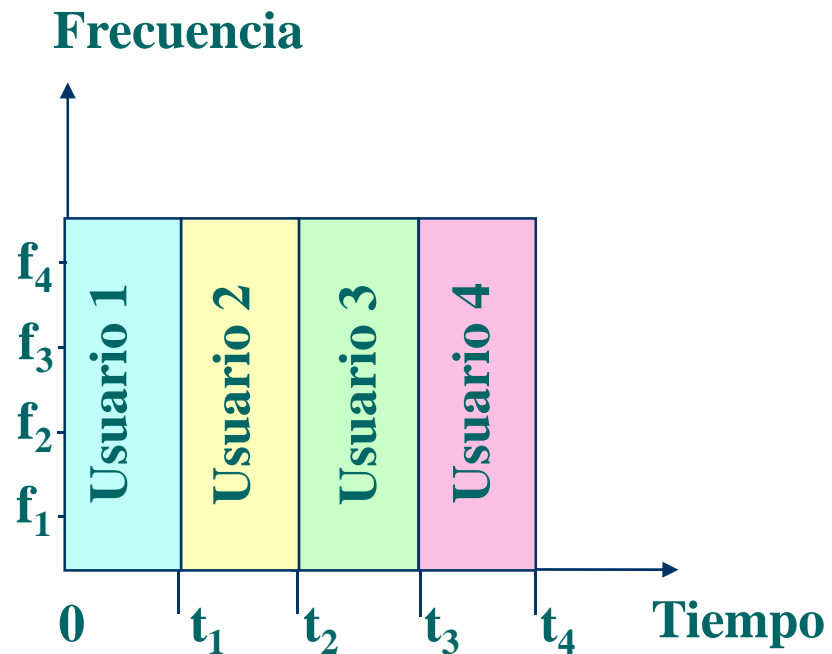
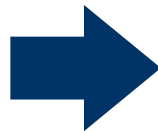
- Se divide el ancho de banda total asignado B_T en M canales de ancho B_C .
- Cada usuario transmite durante todo el tiempo ocupando su canal.
- B_C depende de la modulación.



TDMA (Time Division Multiple Access)

- Los usuarios comparten la misma frecuencia en diferentes instantes de tiempo que se repiten periódicamente.

A cada usuario se le asigna un intervalo temporal

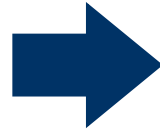


Requiere una estricta sincronización para que las señales lleguen en el instante apropiado.

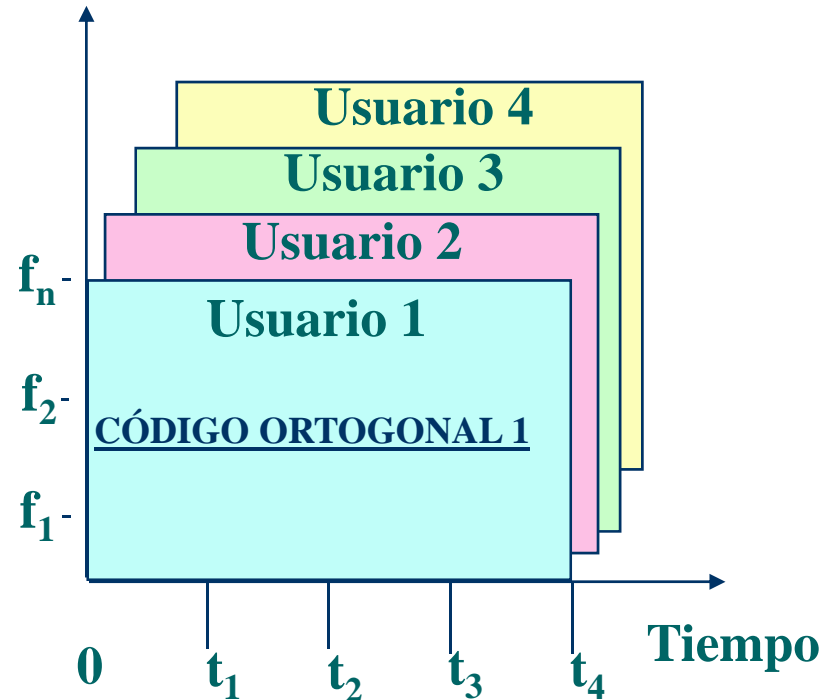
CDMA (Code Division Multiple Access)

- Los usuarios comparten la misma frecuencia y tiempo. Se distinguen entre ellos asignándoles un código digital ortogonal.

A cada usuario se le asigna un código distinto



Frecuencia



Técnicas de duplexado

- Las técnicas de duplexado permiten la comunicación Duplex (transmisión y recepción simultanea) del sistema necesaria en la gran mayoría de sistemas de comunicaciones.
- Técnicas utilizadas:
 - **TDD**: Duplexado por División en Tiempo:
Tx y Rx en instantes diferentes de tiempo, de acuerdo con una cierta estructura de trama, utilizando una misma frecuencia. Por lo tanto, Tx y Rx no son realmente simultáneas, pero la alternancia es imperceptible para el usuario final.
 - **FDD**: Duplexado por División de Frecuencia:
Tx y Rx simultánea en dos frecuencias diferentes.