

# Técnicas de Acceso al Medio

Enrique Alexandre

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Curso 2021/2022

# Índice

1. Introducción
  - Motivación
  - Distintas aproximaciones
  - Representación intuitiva
  - Ejemplo: telefonía móvil
2. FDMA
  - Introducción
  - Modo full duplex
  - Ventajas e inconvenientes
3. TDMA
  - Introducción
  - Parámetros importantes
  - Ejemplo: GSM
  - Ejemplo: GSM
  - Ejemplo: Enlace ascendente PON
  - Ventajas e inconvenientes
4. SDMA
5. CDMA
  - Introducción
  - Técnicas DS
  - Problema cerca-lejos
  - Técnicas FH
  - Ventajas e inconvenientes
6. OFDMA
  - Introducción
  - Funcionamiento
  - Funcionamiento
  - Número de usuarios
  - Ventajas e inconvenientes
  - OFDMA vs. FDMA
  - OFDMA vs. CDMA
7. NOMA
  - Introducción
  - NOMA vs. OMA
  - NOMA vs. OFDMA

# Introducción

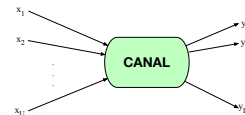
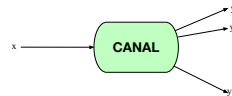
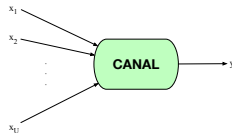
## Motivación

- Recursos escasos en un sistema de telecomunicación
  - Ancho de banda
  - Potencia
  - Número de portadoras disponibles
- ¿Qué se hace cuando varios usuarios quieren acceder a estos recursos?
  - Dividir y asignar dichos recursos
    - Frecuencia
    - Tiempo
    - Código

# Introducción

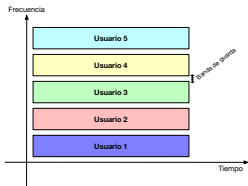
## Distintas aproximaciones

- **MAC** (Multiple-Access Channel)
  - Ej.: GSM, Wi-Fi
- **BC** (Broadcast Channel)
  - Ej.: Radio, TV
- **IC** (Interference Channel)
  - Ej.: Redes militares



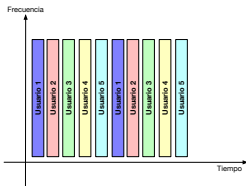
# Introducción

## Representación intuitiva



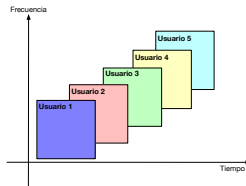
### FDMA

A cada usuario se le asigna una frecuencia



### TDMA

A cada usuario se le asigna un slot de tiempo



### CDMA

A cada usuario se le asigna un código

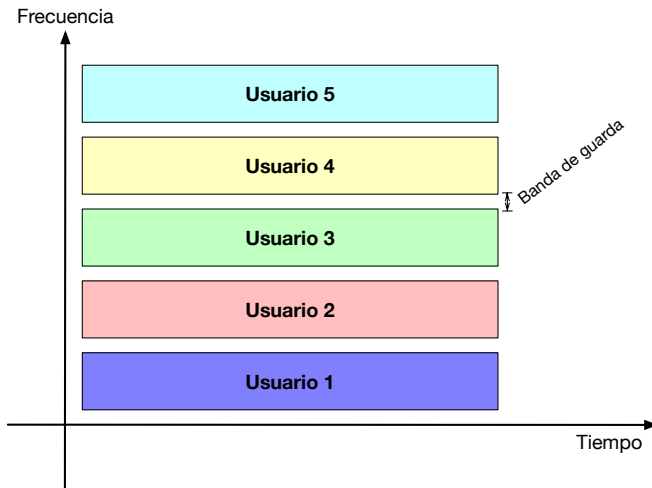
# Introducción

## Ejemplo: telefonía móvil

- 1G: FDMA
- 2.xG: TDMA (con alguna variación)
- 3.xG: CDMA
- 4G: OFDMA + MIMO
- 5G: NOMA

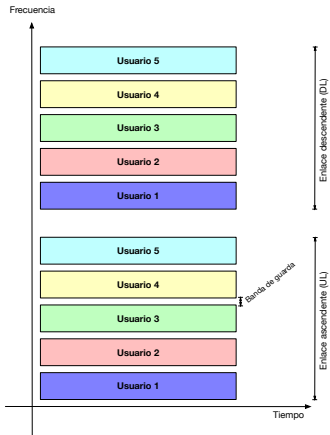
# FDMA (Frequency Division Multiple Access)

## Definición



# FDMA

## Modo full duplex





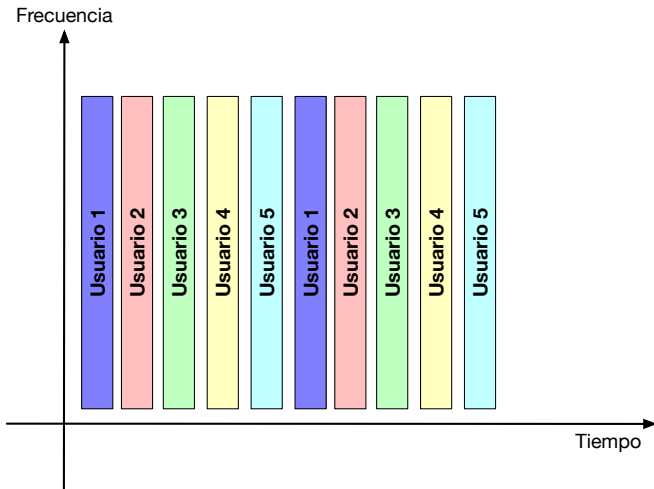
# FDMA

## Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
  - Compatible con modulaciones analógicas y digitales
  - Implementación muy sencilla
- Inconvenientes:
  - No aprovecha bien el espectro disponible (en comparación con TDMA y CDMA)
  - Es un sistema rígido
  - Posible interferencia entre canales
- Aplicaciones:
  - FM comercial:  $BW=150\text{kHz}$ , guarda de  $25\text{kHz}$
  - Fibra óptica

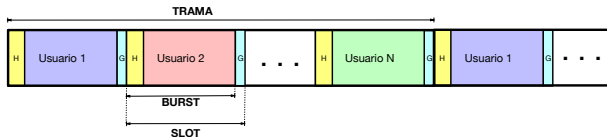
# TDMA (Time Division Multiple Access)

## Introducción



# TDMA

## Parámetros importantes

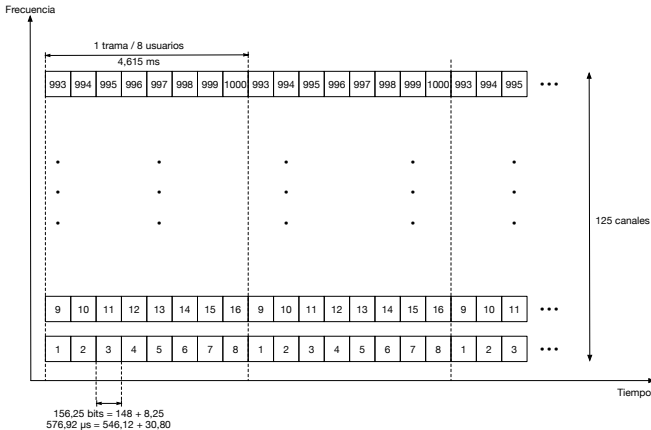


- $B_{\text{TRAMA}}$ ,  $T_{\text{TRAMA}}$ : N° de bits y duración de la trama
- $N$ : N° de slots por trama
- $B_{\text{SLOT}}$ : N° de bits en cada slot
- $B_{\text{BURST}}$ : N° de bits de información por burst:  

$$B_{\text{BURST}} = B_{\text{SLOT}} - G$$
- $H$ : Bits de overhead por slot
- $G$ : Bits/tiempo de guarda

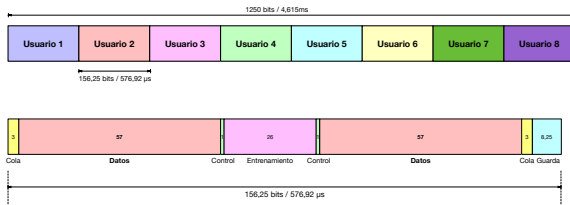
# TDMA

## Ejemplo: GSM



# TDMA

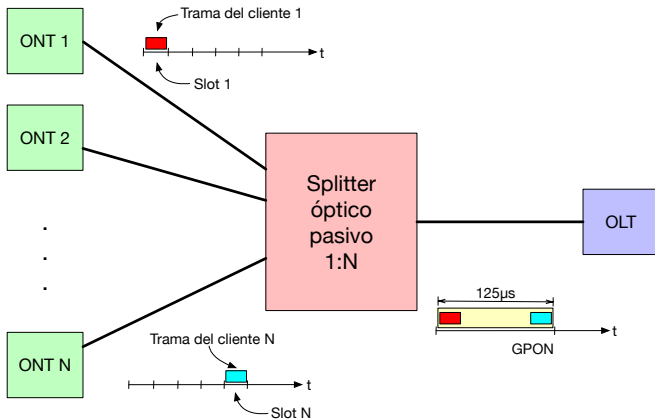
## Ejemplo: GSM



- $B_{\text{SLOT}} = 156,25 \text{ bits}$
- $B_{\text{BURST}} = 148 \text{ bits}$
- $H = 34 \text{ bits}$
- $G = 8,25 \text{ bits}$
- $T_{\text{SLOT}} = 576,92 \mu\text{s}$
- $T_{\text{BURST}} = 546,12 \mu\text{s}$
- $T_{\text{TRAMA}} = 4,615 \text{ ms}$
- $C = \frac{B_{\text{BURST}}}{T_{\text{BURST}}} = \frac{148}{546,12} = 271 \text{ kbps}$
- $R_{\text{bu}} = \frac{B_{\text{BURST}} - H}{T_{\text{TRAMA}}} = \frac{114}{4,615 \text{ ms}} = 24,7 \text{ kbps}$

# TDMA

## Ejemplo: Enlace ascendente PON



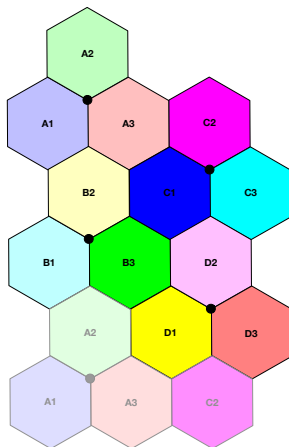
# TDMA

## Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
  - Versatilidad. Se pueden asignar más o menos slots a cada usuario.
  - Buen rendimiento espectral
- Inconvenientes:
  - Complejidad. Requiere sincronización estricta
  - Limitado a sistemas digitales
- Aplicaciones:
  - Telefonía móvil 2.xG (en combinación con FDMA)

# SDMA (Spatial Division Multiple Access)

- Se utilizan antenas directivas para cubrir distintas zonas del espacio con distintos haces de radiación.





# CDMA (Code Division Multiple Access)

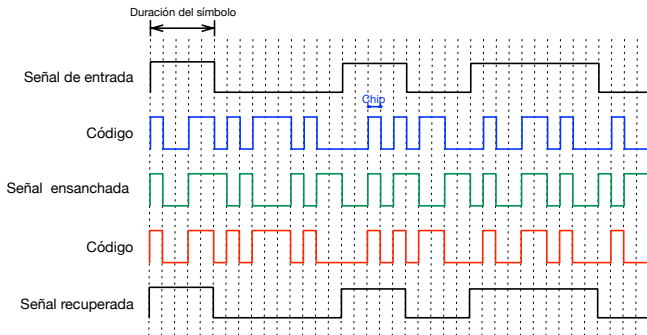
## Introducción

- Los usuarios transmiten simultáneamente y en las mismas frecuencias.
- ¿Cómo se separa cada comunicación?
  - Técnicas de espectro ensanchado (SS, Spread Spectrum):
    - **DS**: Direct Sequence
    - **FH**: Frequency Hoping
    - **TH**: Time Hoping

# CDMA

## Técnicas DS

- Cada usuario dispone de un código que utiliza para codificar la señal enviada:



# CDMA

## Técnicas DS

- Sólo aquellos usuarios con el código correcto podrán interpretar la señal recibida.
- Para el resto será indistinguible del ruido.
- La probabilidad de error para M usuario es:

$$P_e = Q\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{M-1}{3P_g} + \frac{N_0}{2E_b}}}\right)$$

(siendo  $P_g = \frac{W_c}{W_x}$  la ganancia del proceso)

- Si no hay ruido, la probabilidad de error se simplifica:

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{3P_g}{M-1}}\right)$$

# CDMA

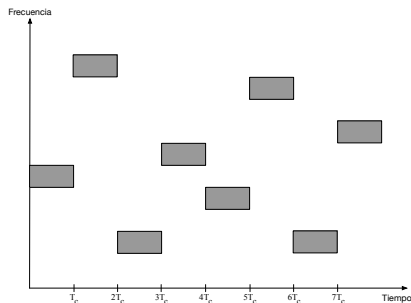
## Problema cerca-lejos

- Es uno de los principales problemas de los sistemas CDMA
- Caso típico: telefonía móvil
- Puede haber problemas al detectar una señal débil en presencia de otras de mayor potencia
- Solución: técnicas de control de potencia
- Ventaja añadida: ahorro de batería

# CDMA

## Técnicas FH (Frequency Hopping)

- Surgieron en la II Guerra Mundial como técnicas para guiar torpedos sin poder ser detectados por el enemigo.
- La señal va saltando de una frecuencia a otra siguiendo una secuencia pseudoaleatoria



# CDMA

## Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
  - Señal transmitida con baja densidad espectral de potencia  $\Rightarrow$  afecta poco a otros sistemas.
  - Privacidad
  - No existen slots de transmisión
  - Uso eficiente del espectro
  - Disminución de problemas por multitrayecto  $\Rightarrow$  Receptor RAKE
- Inconvenientes:
  - El rendimiento se degrada al aumentar los usuarios
  - Problema cerca-lejos

# OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

## Introducción

- Los datos se reparten entre varias subportadoras ortogonales y equiespaciadas en frecuencia:

$$\int_0^T \cos(2\pi f_k t) \cos(2\pi f_i t) dt = 0 \quad \forall k \neq i$$

- Cada subportadora funciona como un canal que transporta sus propios datos
- Puede verse como una técnica de espectro ensanchado

# OFDMA

## Funcionamiento

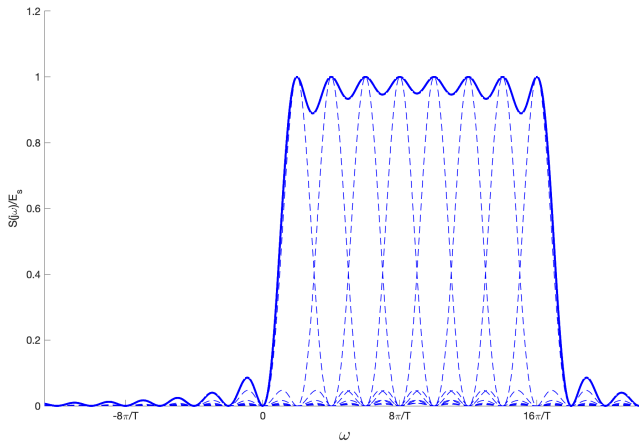
- ¿Cómo se aplica esta idea al acceso múltiple?
- Se asigna a cada usuario un cierto número de portadoras entre las que reparte el flujo total de datos
- Cada subflujo modula a cada portadora
- A cada usuario se le puede asignar, en cada slot de tiempo, un cierto número de portadoras ortogonales



# OFDMA

## Funcionamiento

- Espectro de 8 señales OFDM:



# OFDMA

## Número de usuarios

- Según en teorema de Nyquist generalizado, el número máximo de usuarios es  $2WT$  (siendo  $W$  el ancho de banda)
- ¿Cómo se puede ampliar este número?
  - No asignar las portadoras de forma permanente
    - Técnicas CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Ej. Ethernet
  - Usar señales “casi” ortogonales  $\Rightarrow$  Interferencia multiacceso (MAI).

# OFDMA

## Ventajas e inconvenientes

- Ventajas:
  - Se reduce el riesgo de interferencia entre subcanales
  - Robusto frente a multitrayecto
  - No es necesario utilizar filtros pasobanda como en FDMA
- Inconvenientes:
  - Es necesaria una sincronización estricta
- Aplicaciones:
  - Wi-Fi (IEEE 802.11)
  - WiMax (IEEE 802.16)

# OFDMA

## OFDMA vs. FDMA

- OFDMA es **más eficiente** en ancho de banda
- OFDMA permite **mayor velocidad** de datos
- OFDMA es **menos robusto** frente a interferencia multitrayecto

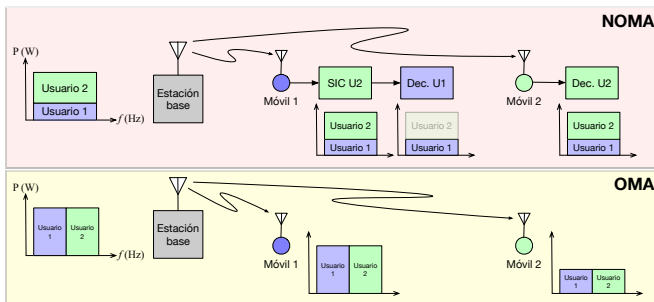
# OFDMA

## OFDMA vs. CDMA

- En OFDMA la información se transmite utilizando varias **portadoras ortogonales**
- En CDMA todos los usuarios **comparten frecuencias** y se utilizan códigos
- CDMA permite **comunicaciones más seguras** en entornos ruidosos

# NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)

## Introducción



# NOMA

## NOMA vs. OMA

- En OMA, cada frecuencia se asigna a un usuario, aunque tenga malas condiciones de canal  $\Rightarrow$  **Afecta a todo el sistema**
  - NOMA comparte la misma frecuencia con todos los usuarios
- En OMA, los usuarios con mejores condiciones de canal tienen mayor prioridad  $\Rightarrow$  **Problema con conexiones masivas**
  - NOMA proporciona mejores condiciones y menor latencia
- NOMA es **prácticamente compatible** con las arquitecturas actuales

# NOMA

## NOMA vs. OFDMA

