

# Caracterización del canal de radio

## Primera Parte

### Propagación en Entornos Urbanos

Matías Mateu – IIE  
*mmateu@fing.edu.uy*

# Temario – Primera Parte

- Repaso de mecanismos de propagación
- Canal de radio:
  - Variabilidad en tiempo y en frecuencia
  - Análisis a gran y pequeña escala
  - Pérdidas por distancia
  - Ensombrecimiento (bloqueo o "shadowing")
  - Desvanecimiento de multicamino
  - Dispersión Doppler – efecto del radio móvil
- Clasificación de canales
  - Según dispersión del retardo multicamino
  - Según dispersión Doppler

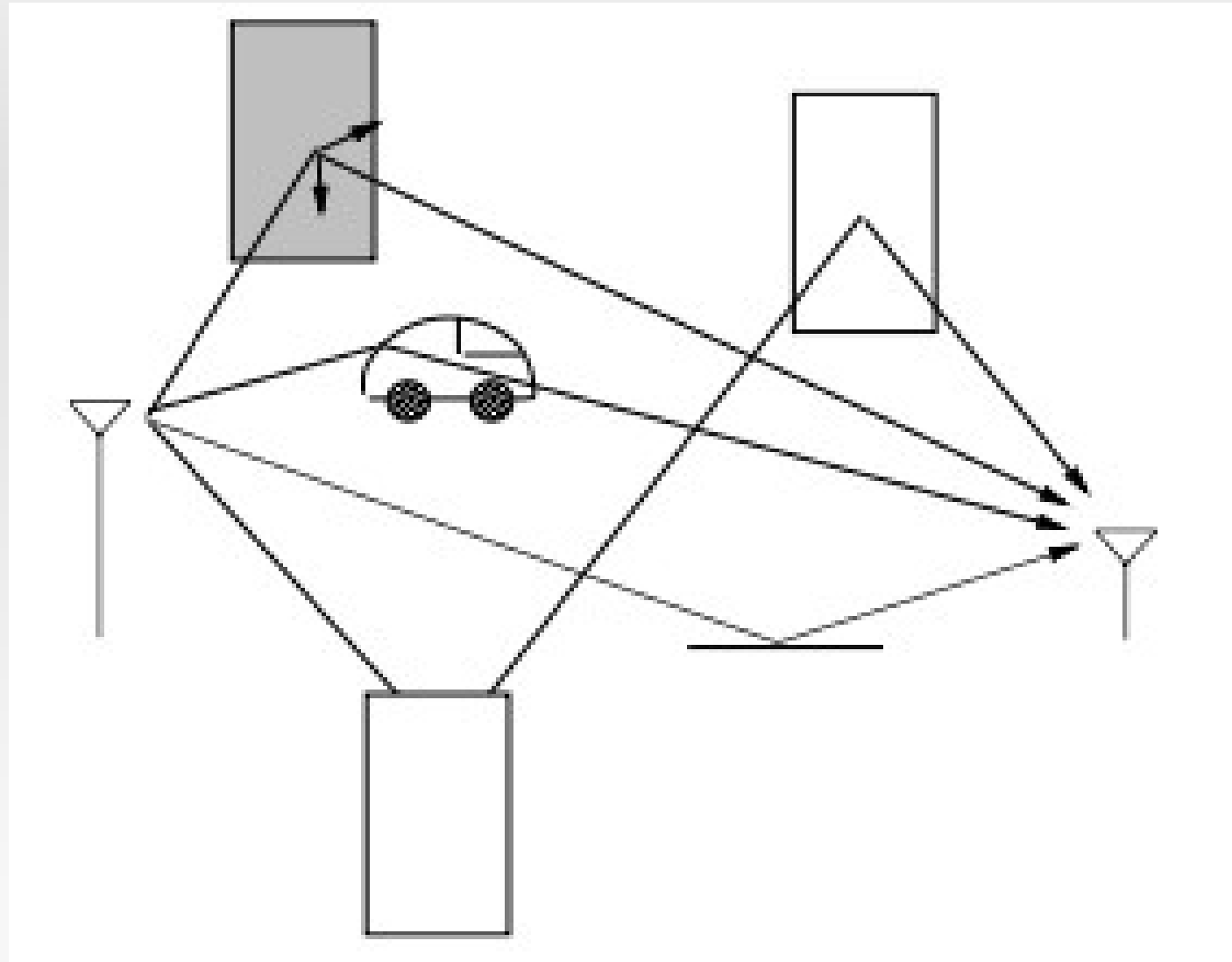
# Temario – Segunda parte

- Modelos de canal:
  - Banda angosta (Rayleigh, Rician)
  - Banda ancha (WSSUS)
- Desempeño del canal
- Disponibilidad

# Primera Parte

# Mecanismos de propagación

- De Tx a Rx:
  - Reflexión
  - Transmisión
  - Difracción
  - Dispersión
- ¿qué problemas ocurren?

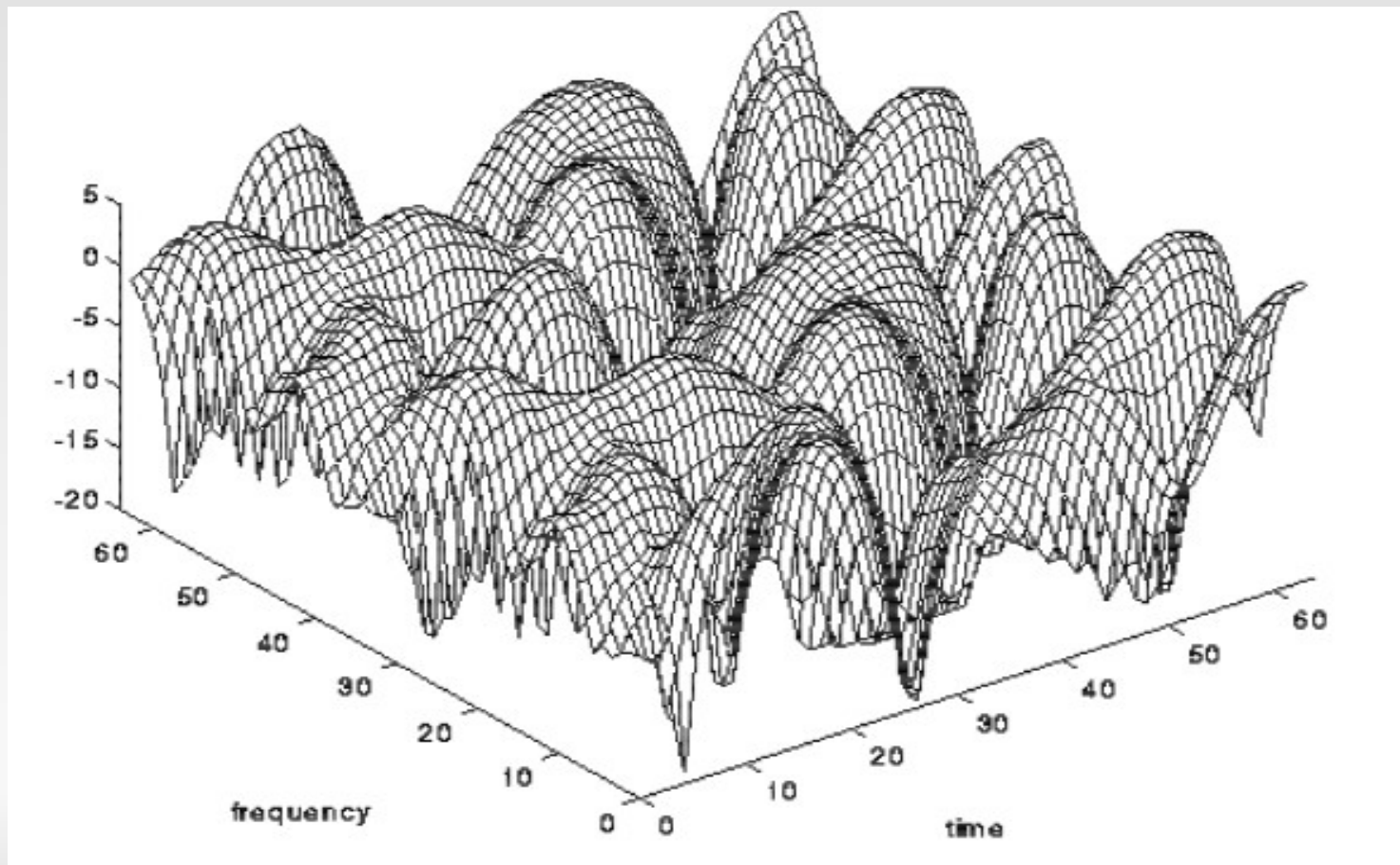


# Canal de Radio

- Los canales pueden clasificarse:
  - En el dominio del tiempo:
    - *no selectivo* (escenario estático, invariante en el tiempo)
    - *selectivo* (escenario cambiante, variante en el tiempo)
  - En el dominio de la frecuencia:
    - *no selectivo* (banda angosta)
    - *selectivo* (banda ancha)

# Canal de Radio

- Variabilidad en el tiempo y en la frecuencia



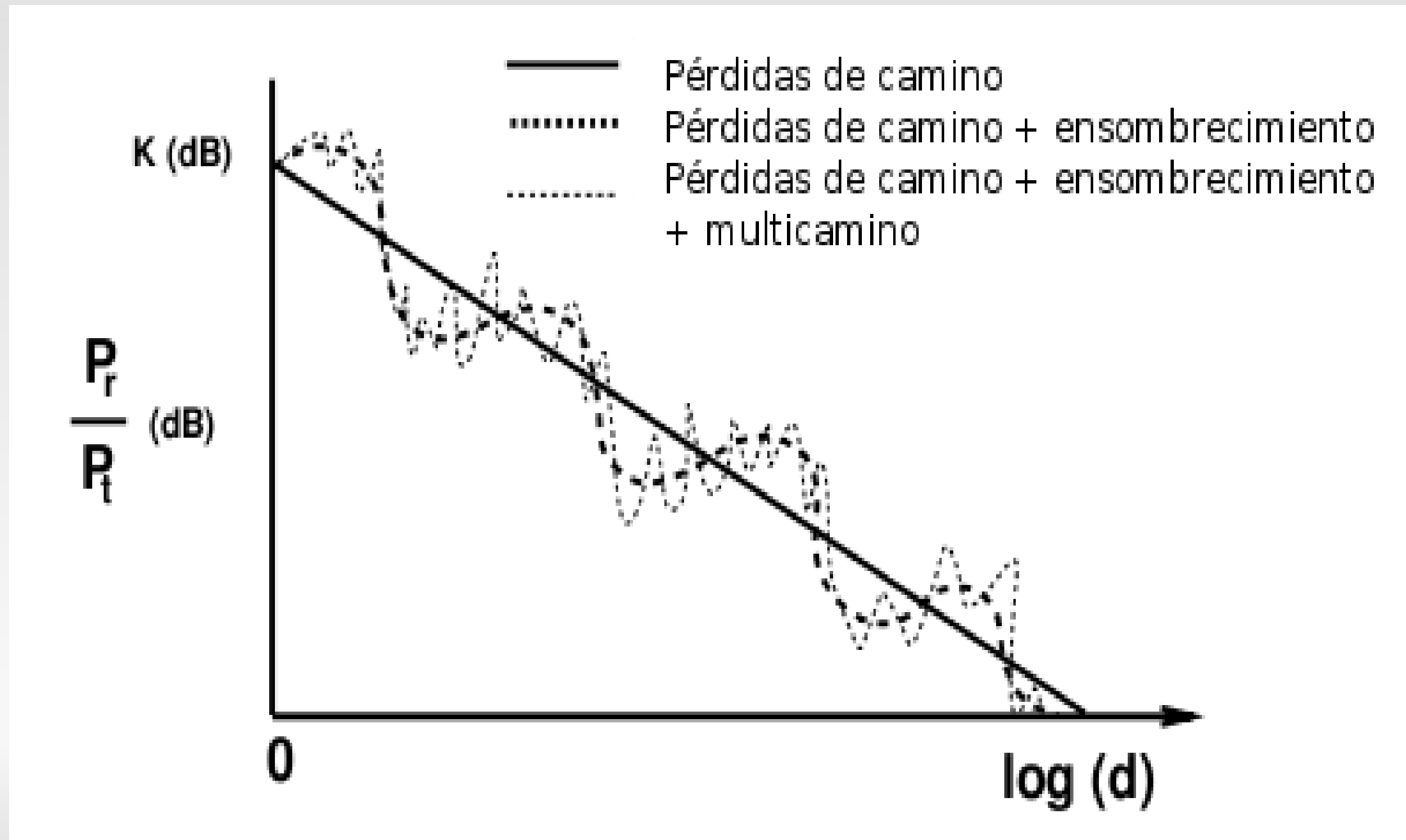
# Caracterización del Canal

- Gran escala:
  - Predicen la atenuación de la señal que llega al Rx a una distancia mucho mayor en comparación con la longitud de onda de la señal
  - Ej: Pérdidas de espacio libre, de camino y de ensombrecimiento
- Pequeña escala:
  - Predicen las variaciones de la señal en Rx en pequeñas distancias (comparables con la longitud de onda) o en pequeños períodos de tiempo. Para cambios pequeños de posición puede haber atenuaciones de 3 o 4 órdenes de magnitud
  - Ej: Desvanecimiento multicamino y Efecto Doppler



# Canal de Radio

- Comportamiento con la distancia



# Canal de Radio

- Pérdidas de camino (Path Loss)
- Ensombrecimiento (Shadowing o bloqueo)
- Canales con desvanecimiento Multicamino (Multipath Fading)
- Canales con desvanecimiento por efecto Doppler (radio móvil)

# Canal de Radio

- Pérdidas de Camino (Path Loss)
- Modelos de suma precisión se pueden obtener mediante modelos analíticos complejos o mediante medidas en campo (Ej: Trazado de rayos).
- Para trabajar con una aproximación general se puede utilizar el modelo simplificado:

$$P_r = P_t K \left[ \frac{d_0}{d} \right]^\gamma$$

$$P_r (dBm) = P_t (dBm) + K (dB) - 10 \gamma \log_{10} \left[ \frac{d}{d_0} \right]$$

*K constante adimensionada que depende de las características de la antena y de la atenuación media.*

# Pérdidas de camino (Path Loss)

- Exponentes típicos de Path Loss

ambiente	Rango de $\gamma$
Macroceldas urbanas	3,7-6,5
Microceldas urbanas	2,7-3,5
Edificio de oficinas (mismo piso)	1,6-3,5
Edificio de oficinas (varios pisos)	2-6
Tienda	1,8-2,2
Fábrica	1,6-3,3
Hogar	3

# Ensombrecimiento

- Ensombrecimiento

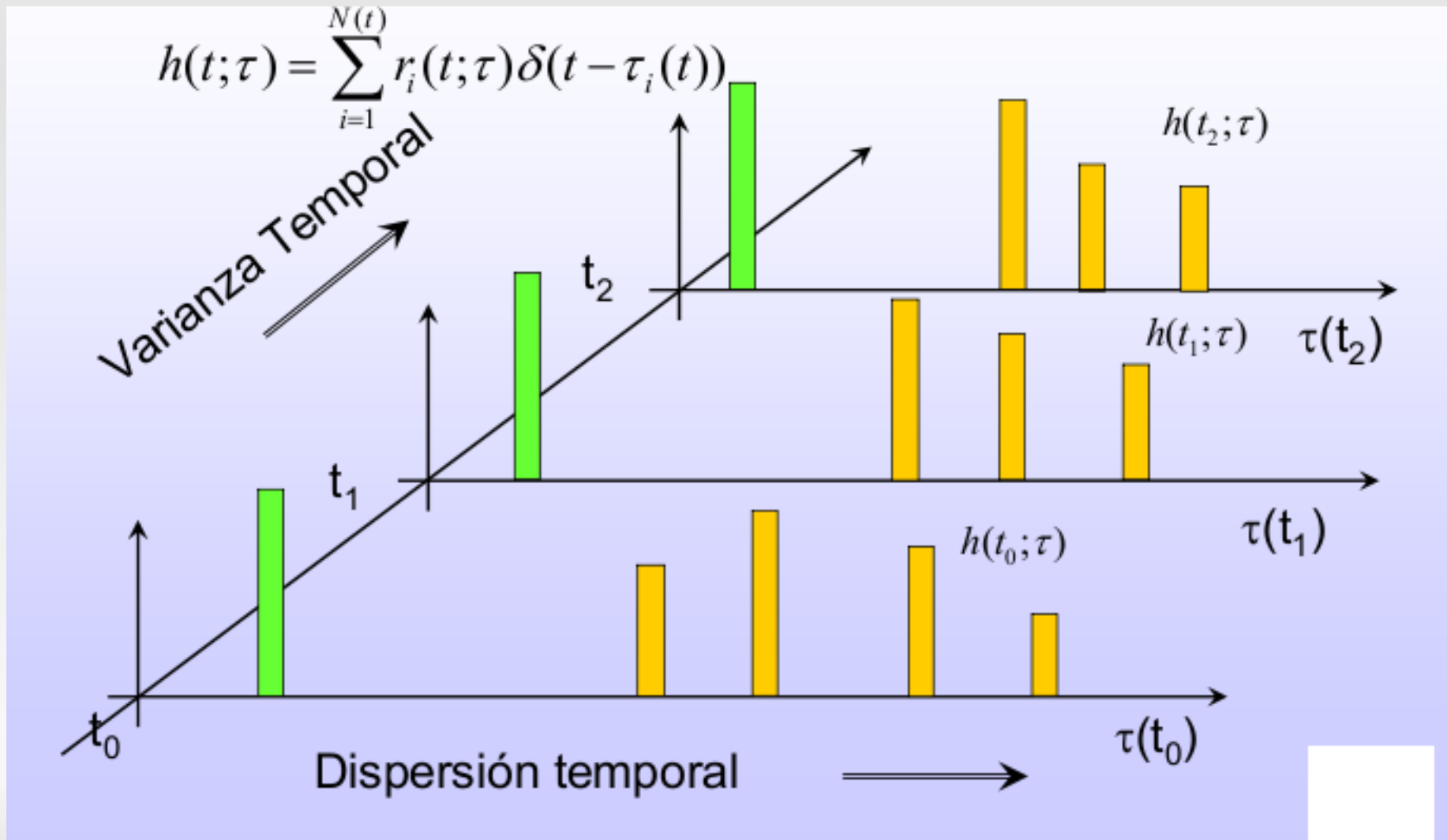
- Debido al bloqueo de obstáculos en el camino de la señal, así como cambios en los objetos reflectores y dispersivos en el medio de transmisión
- El modelo más común de esta atenuación adicional al "path loss" es el ensombrecimiento log-normal. Es decir, a las pérdidas por camino se agrega un término cuyo logaritmo es una distribución normal, media nula y varianza  $\sigma$ :

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + K(dB) - 10 \gamma \log_{10} \left[ \frac{d}{d_0} \right] - X_\sigma$$

# Dispersión

- Dispersión del retardo
  - Caracterización
  - ISI – Interferencia inter-simbólica
  - Ancho de banda de coherencia
- Dispersión Doppler
  - Caracterización
  - ICI – Interferencia inter-canal
  - Tiempo de coherencia del canal

# Canal de radio - dispersión



# Canal de radio - multicamino

- Pérdidas por multicamino
  - Análisis de pequeña escala
  - Un modelo determinístico no sería apropiado ya que la respuesta del canal varía con el tiempo.
  - Se utiliza la respuesta al impulso como caracterización estadística:  $h(\tau, t)$
  - Dependen del medio de transmisión, ej: urbano, suburbano, rural.

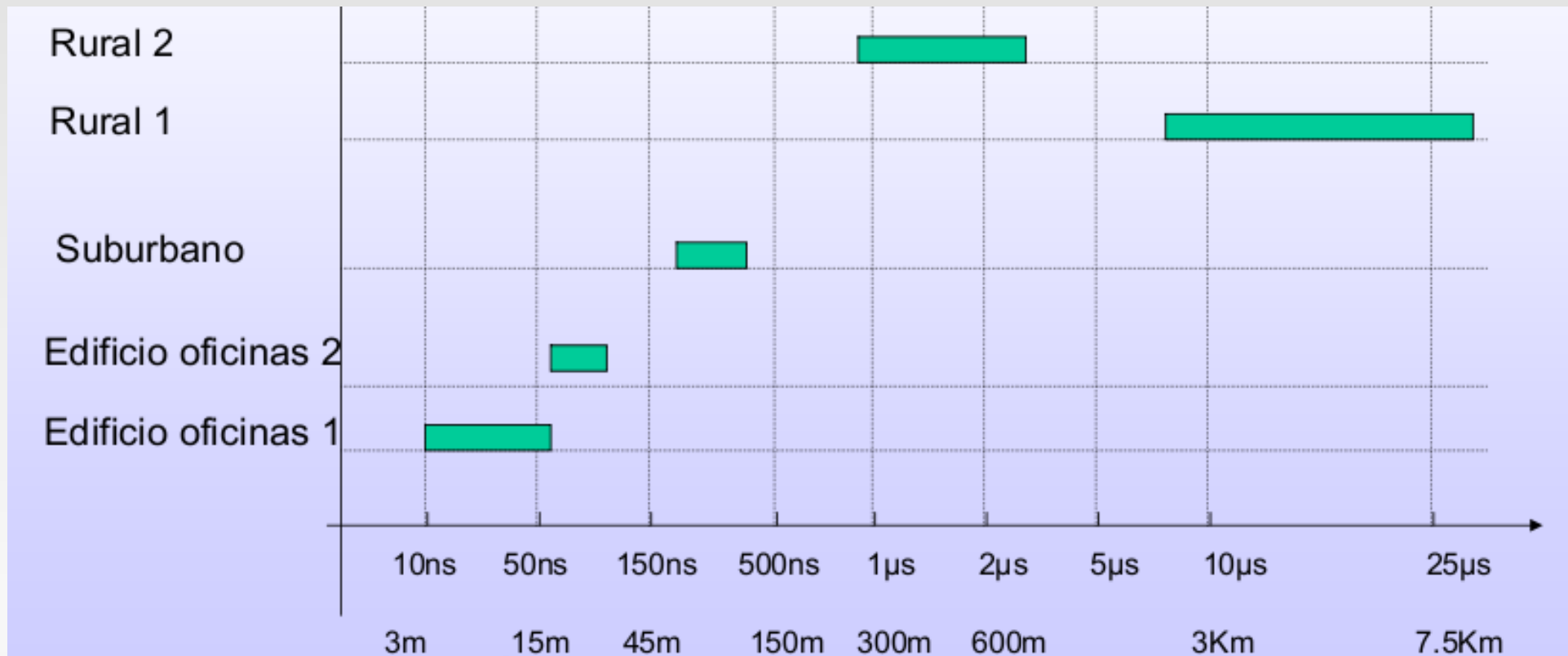


# Dispersión del retardo

- Dispersión del retardo:
  - Se miden valores típicos de la dispersión del retardo:
    - Delay rms:  $\sigma_{\tau} = \sqrt{\overline{\tau^2} - \overline{\tau}^2}$
    - Delay máximo
- En vez de medir la respuesta al impulso, se utiliza el perfil de potencias recibido en función del retardo.
  - Modelo discreto: colección de impulsos que definen los caminos multitrayecto
  - La transformada de Fourier define la respuesta en frecuencia del canal

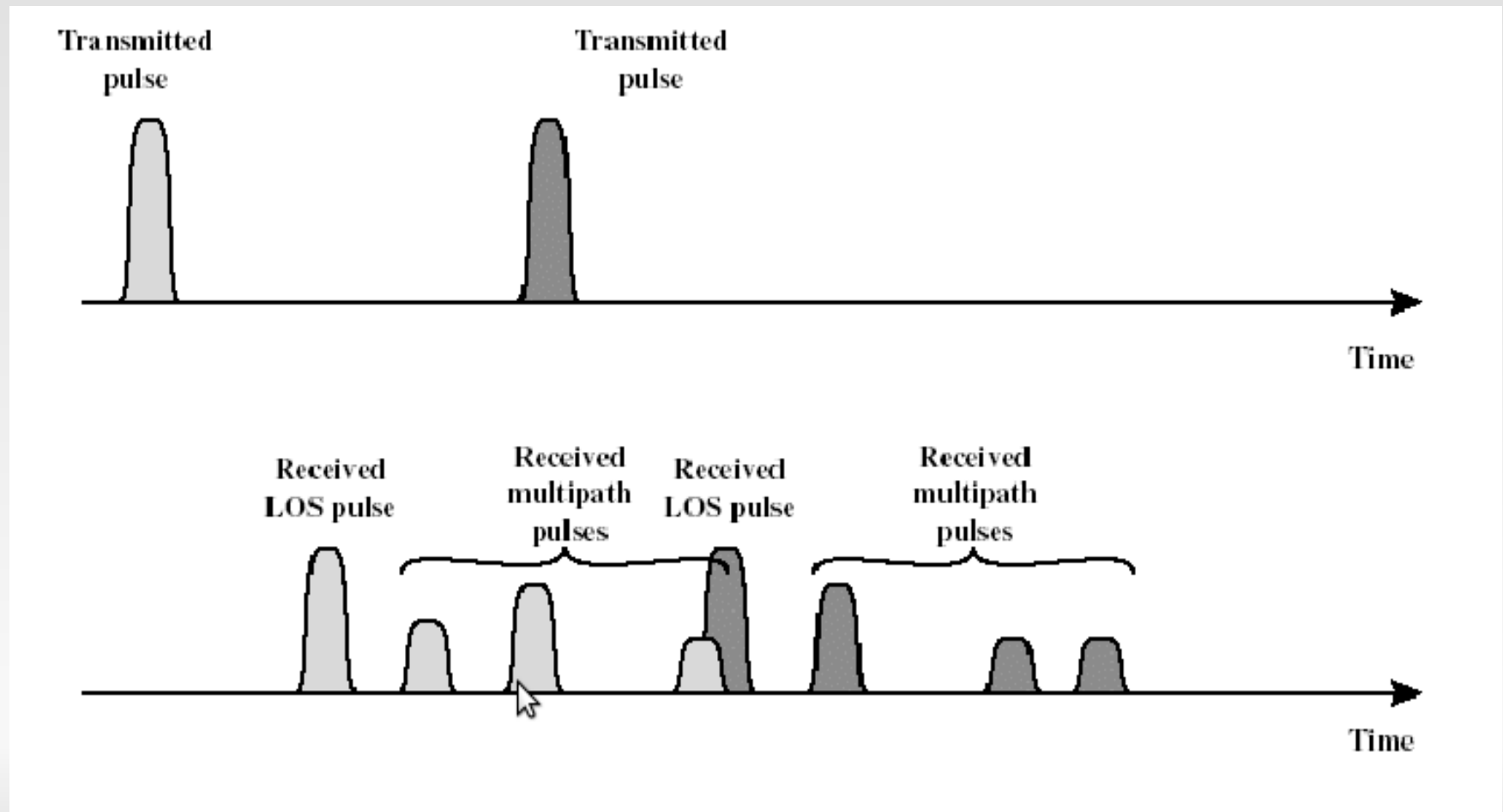
# Dispersión del retardo

- Retardos típicos según escenario:



# Dispersión del retardo

- Ejemplo gráfico de la dispersión del retardo:



# Dispersión del retardo

- Interferencia inter-simbólica (ISI)
  - En casos en que el retardo de los multicaminos sea demasiado grande, puede existir ISI
  - Se compara el tiempo de símbolo con el *delay rms* o el *delay* máximo
  - Si la dispersión de retardo es mucho mayor que el tiempo de símbolo entonces puede haber interferencia
  - Existen criterios prácticos para definir la condición de ISI
  - Como la dispersión del retardo está dada, este problema limita el tiempo de símbolo, i.e: la velocidad de transmisión

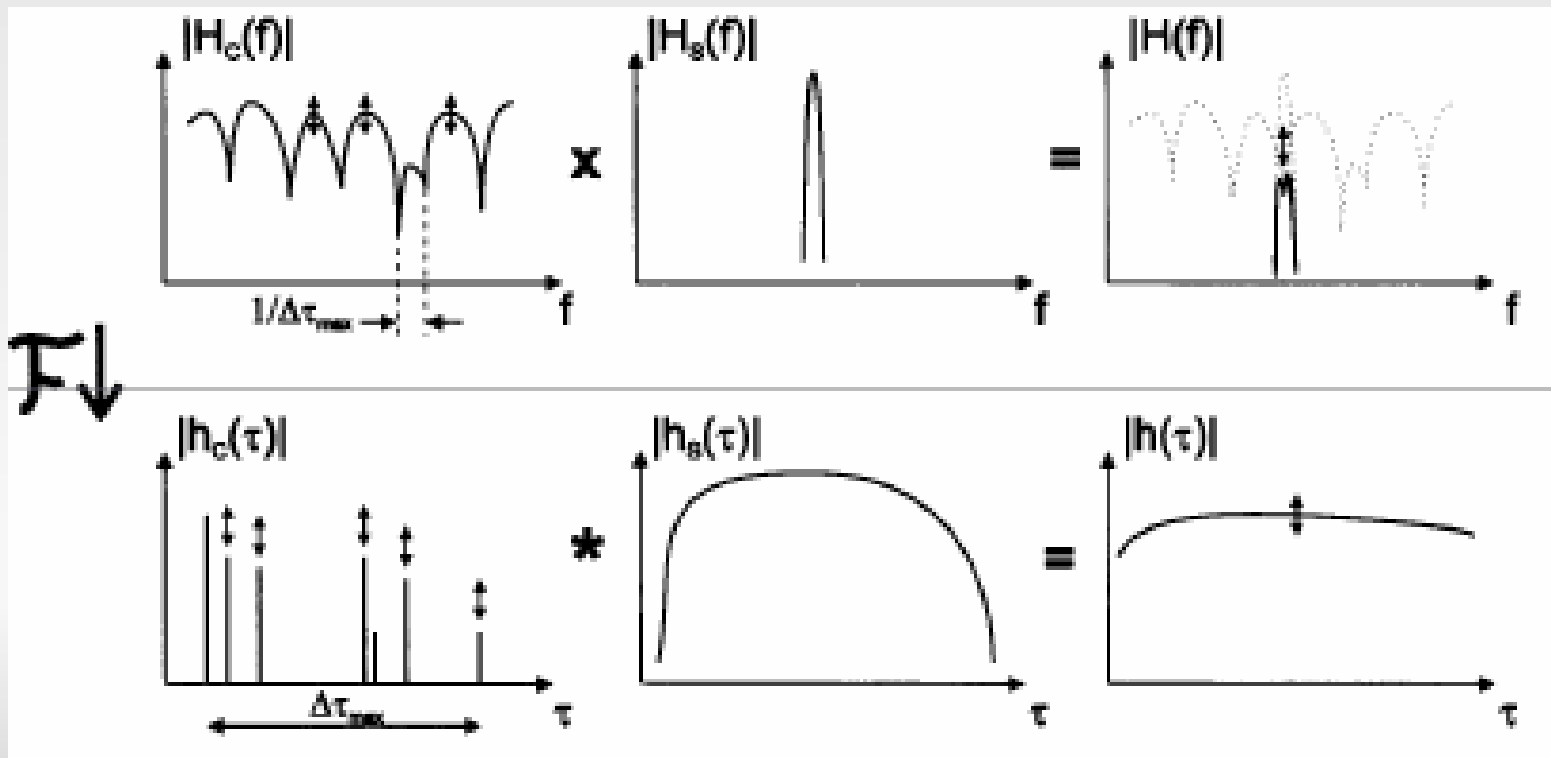
# Dispersión del retardo

- Ancho de banda de coherencia:  $B_c$ 
  - Es el ancho de banda en que la respuesta en frecuencia se puede considerar plana.
  - En función del ancho de banda de la señal puede provocar selectividad frecuencial.
  - La dispersión del retardo y el ancho de banda de coherencia son inversamente proporcionales:

$$\sigma_\tau \propto \frac{1}{B_C}$$

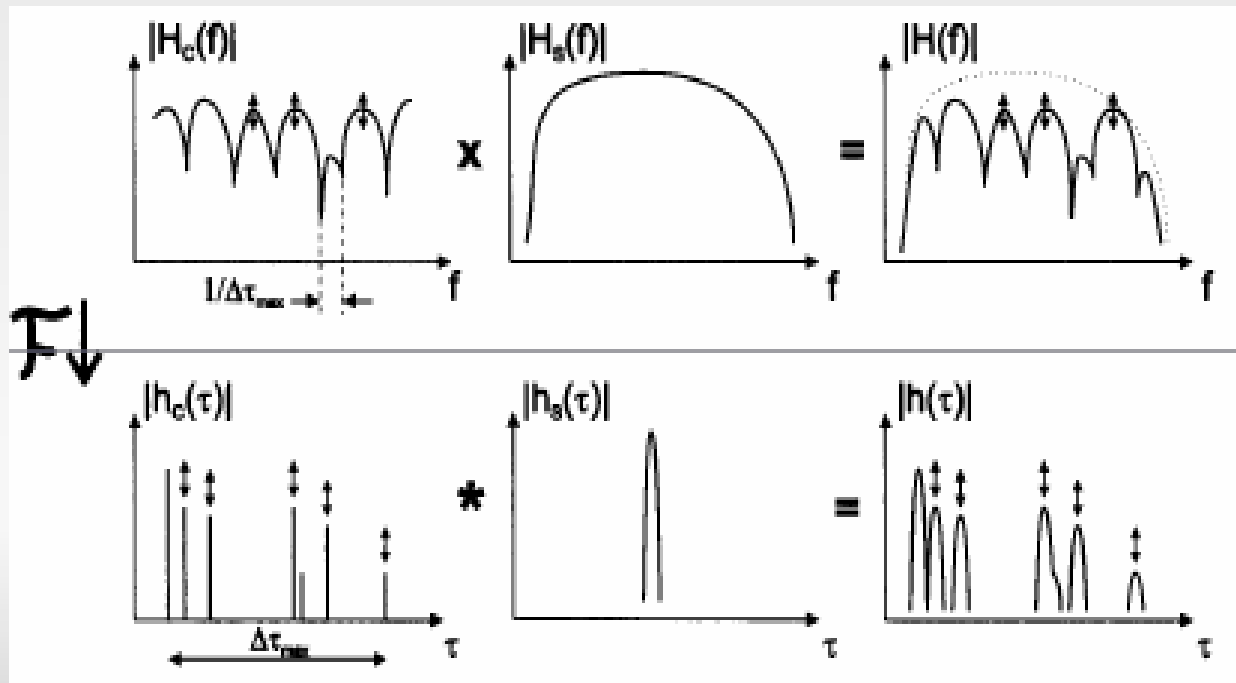
# Desvanecimiento de la señal

- Debido a dispersión del retardo multicamino:
  - Fading plano (banda angosta)
    - $B_S < B_C \Leftrightarrow \sigma_\tau < T_S$
    - Conserva el espectro de la señal
    - No se pueden discriminar componentes en Rx



# Desvanecimiento de la señal

- Debido a dispersión del retardo multicamino:
  - Fading selectivo en frecuencia (banda ancha)
    - $B_S > B_C \Leftrightarrow \sigma_\tau > T_S$
    - No conserva el espectro de la señal
    - ISI
    - Se puede discriminar las componentes



# Dispersión Doppler

- Desvanecimiento por efecto Doppler
  - Análisis de pequeña escala
  - Debido a movimientos relativos entre el transmisor y el receptor
  - Si el móvil se mueve a una velocidad  $\mathbf{v}$ , la señal en recepción tendrá una dispersión en frecuencia, denominada Doppler, dada por:

$$f_D = v \cos \theta / \lambda$$

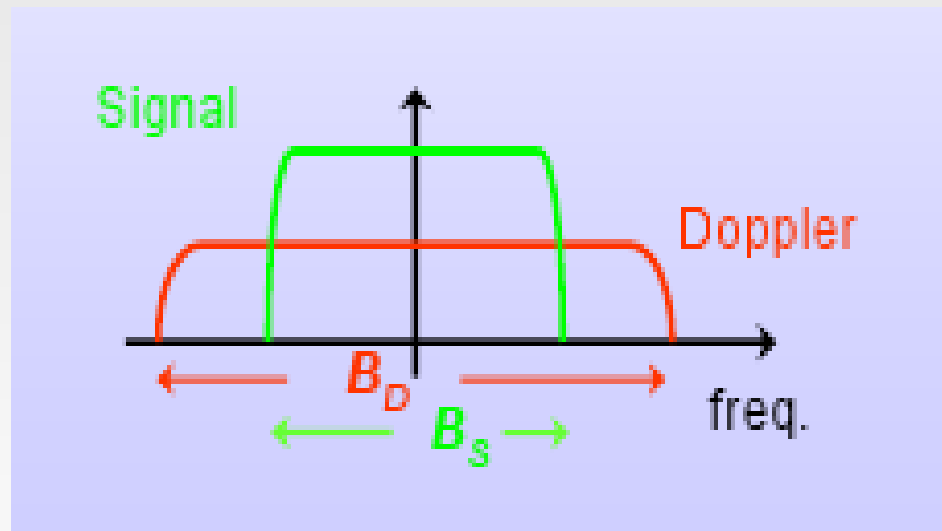


# Dispersión Doppler

- Tiempo de Coherencia del Canal:  $T_C$ 
  - Intervalo de tiempo en que el canal tiene respuestas impulsivas altamente correlacionadas
- Se cumple que:  $f_D \propto \frac{1}{T_C}$

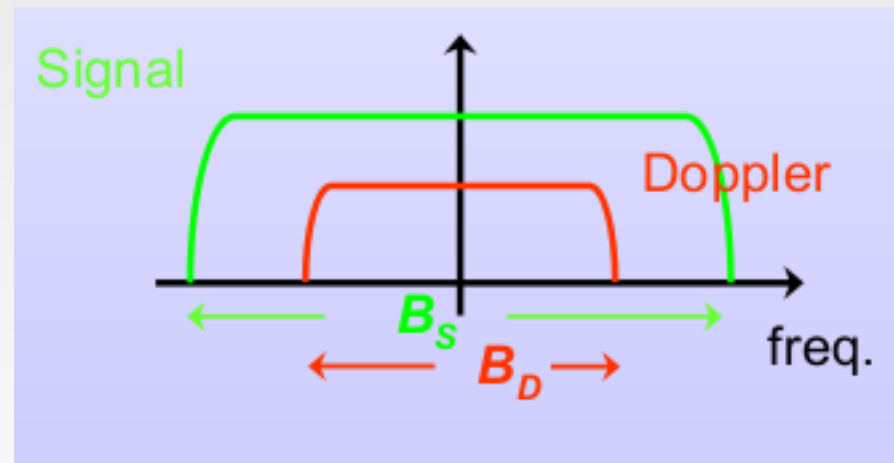
# Desvanecimiento de la señal

- Debido a dispersión temporal o Doppler:
  - Fast Fading
    - Alta dispersión temporal
    - $\frac{1}{B_D} \approx T_C < T_S$



# Desvanecimiento de la señal

- Debido a dispersión temporal o Doppler:
  - Slow Fading
    - Baja dispersión temporal
    - $\frac{1}{B_D} \approx T_C > T_S$



# Desvanecimiento de la señal

- La dispersión del retardo y la dispersión Doppler son efectos independientes que pueden conjugarse
- Ejemplo: Canal selectivo en frecuencia y fading rápido (selectivo en ambos sentidos)
- Ejemplo: Canal con fading plano y fading rápido

# Resumen

## Selectividad temporal

## Selectividad en frecuencia

**Interpretación temporal**

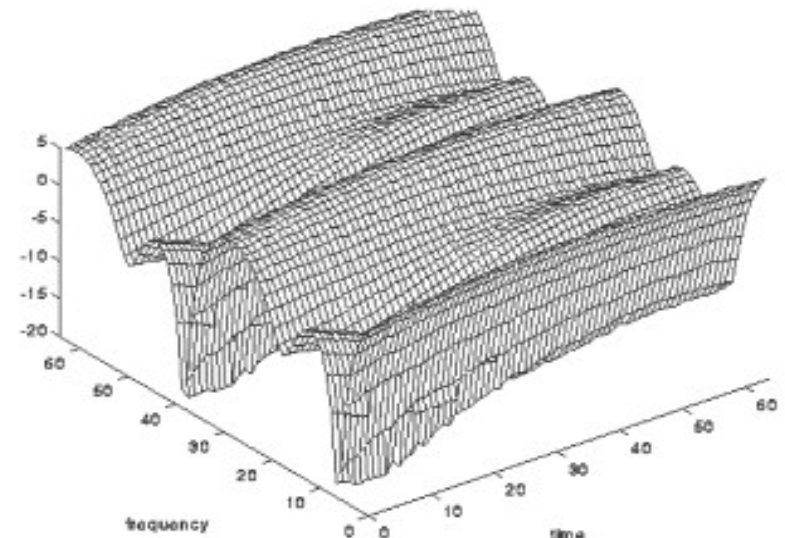
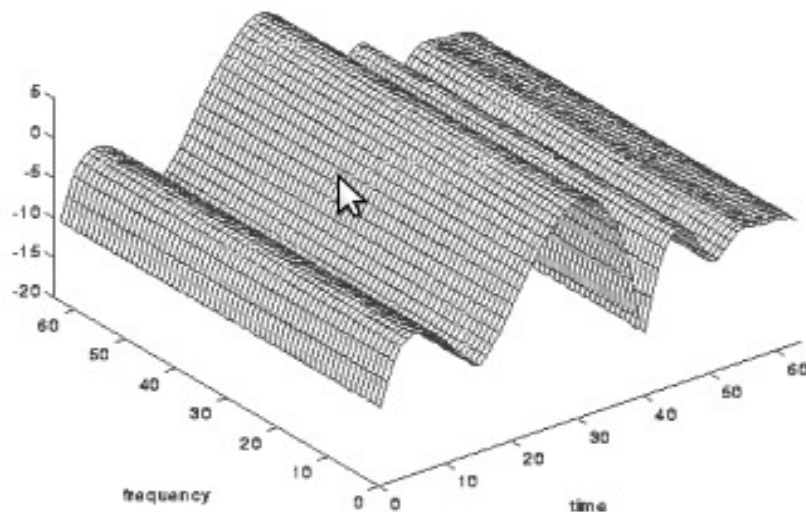
**Interpretación espectral**

Variaciones del canal  
*Fading* rápido  
*Shadowing*

*Delay spread*  
*ISI*

Efecto *Doppler*  
*ICI*

Distinta respuesta para cada portadora



# Bibliografía

- Andrea Goldsmith, "Wireless Communications", Cambridge University, 2005.
- Pahlavan, Levesque, "Wireless Information Networks", s.e, 2002.
- s.a, "Tema 5: Canales con Desvanecimiento", en Curso: *Sistemas y Canales de Transmisión*, Universidad Carlos III, Madrid.
- Benigno Rodríguez, "Differential STBC for OFDM based Wireless Systems", Cuvillier Verlag, Göttingen, 2007.