

Caracterización del canal de radio

Segunda Parte

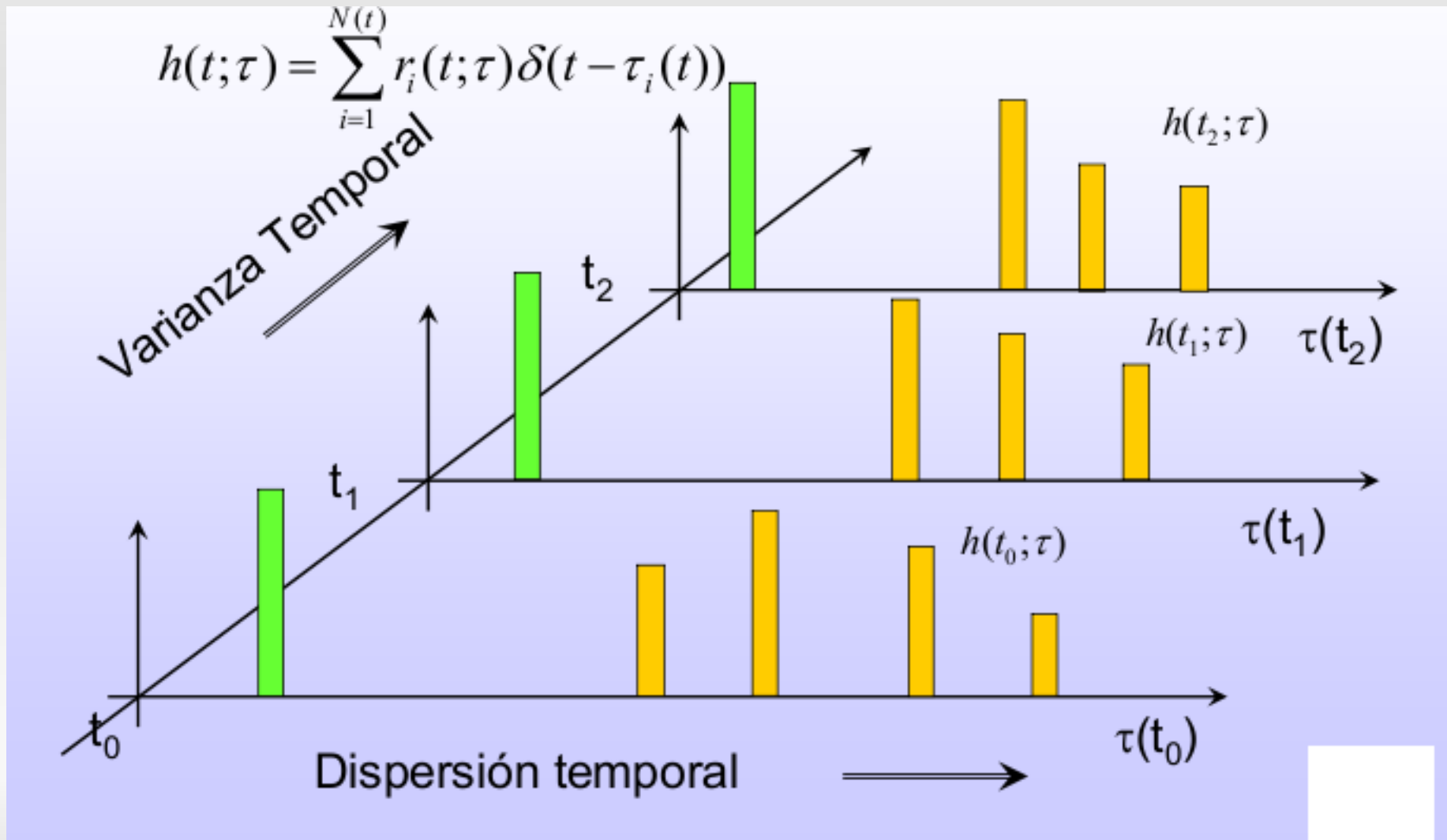
Propagación en Entornos Urbanos

Matías Mateu – IIE
mmateu@fing.edu.uy

Temario

- Resumen Primera Parte
- Modelos de canal:
 - AWGN
 - Banda angosta (Rayleigh, Ricean)
 - Banda ancha (WSSUS)
- Desempeño del canal

Resumen primera parte



Resumen primera parte

Selectividad temporal

Selectividad en frecuencia

Interpretación temporal

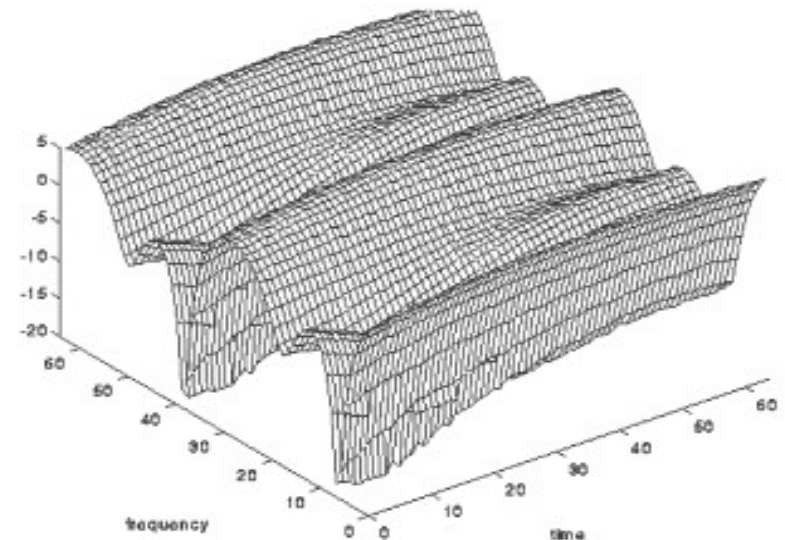
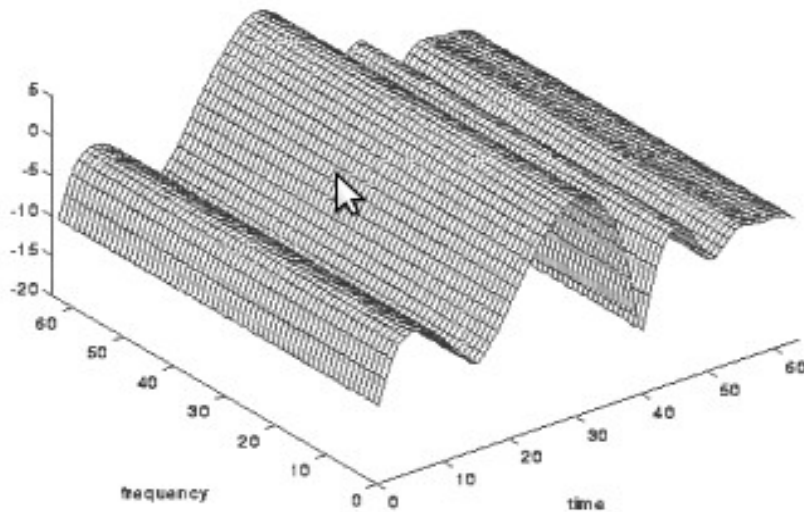
Interpretación espectral

Variaciones del canal
Fading rápido
Shadowing

Delay spread
ISI

Efecto *Doppler*
ICI

Distinta respuesta para cada portadora



Segunda Parte

Modelos de Canal Multicamino

- ¿Para qué queremos un modelo?
 - Simulación, pronóstico, mapas de cobertura y comparación de sistemas de comunicación.
- Modelos determinísticos
 - Ejemplo: Trazado de rayos
- Modelos estadísticos
 - Caracterización de la señal en pequeña escala (tiempo, distancia, frecuencia)
 - Variaciones debajo de un umbral mínimo
 - Utilizamos una respuesta al impulso dada por una variable aleatoria que depende del tiempo

Modelos de Canal Multicamino

- Modelos Estadísticos dependen de:
 - LOS – Línea de vista (line-of-sight)
 - Existirá una componente principal en el tren de ecos que llegan al Rx
 - NLOS – No línea de vista (non-line-of-sight)
 - No existirá ninguna componente principal en Rx
 - Tipo de desvanecimiento:
 - Lento: características globales del escenario
 - Rápido: Características debido a pequeños movimientos cerca del Rx

Modelos de Canal Multicamino

- Los modelos también serán aplicables según el sistema sea de:
 - Banda angosta (desvanecimiento plano)
 - Banda ancha (desvanecimiento selectivo en frecuencia)

Modelos de Canal Multicamino

- Modelo AWGN
 - Ruido Aditivo blanco gaussiano
 - Uniforme en el tiempo y en el espacio
 - No contempla selectividad temporal ni frecuencial
 - $r(t) = s(t) + n(t)$
 - Densidad de probabilidad:

$$f(n) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{n}{\sigma}\right)^2}$$

Modelos de Canal Multicamino

- Modelos de Banda angosta:
 - Caracterizan desvanecimiento plano
 - Típicamente cuando hay interferencia destructiva en el Rx
 - Varias réplicas de la señal se suman vectorialmente en Rx
 - Hipótesis: $\tau_{rms} \ll \frac{1}{B_C}$
 - Se utiliza una función densidad de probabilidad que toma la variación de la señal en Rx
 - Distribuciones de Rayleigh, Rician

Modelos de Canal Multicamino

■ Rayleigh

- La amplitud de la señal compleja recibida X es suma de fasores complejos cada uno con magnitud y fase, asociadas a las componentes de multicamino
- Las componentes de cada camino no pueden ser "resueltas"
- Se puede descomponer en fase y cuadratura
- Si dichas componentes tienen distribución normal de media nula entonces la amplitud del vector tiene una distribución de Rayleigh
- La señal recibida sufre variaciones rápidas debidas a los aportes destructivos y constructivos de las distintas componentes multicamino

Modelos de Canal Multicamino

- Rayleigh

- NLOS – No existe componente principal en el multicamino

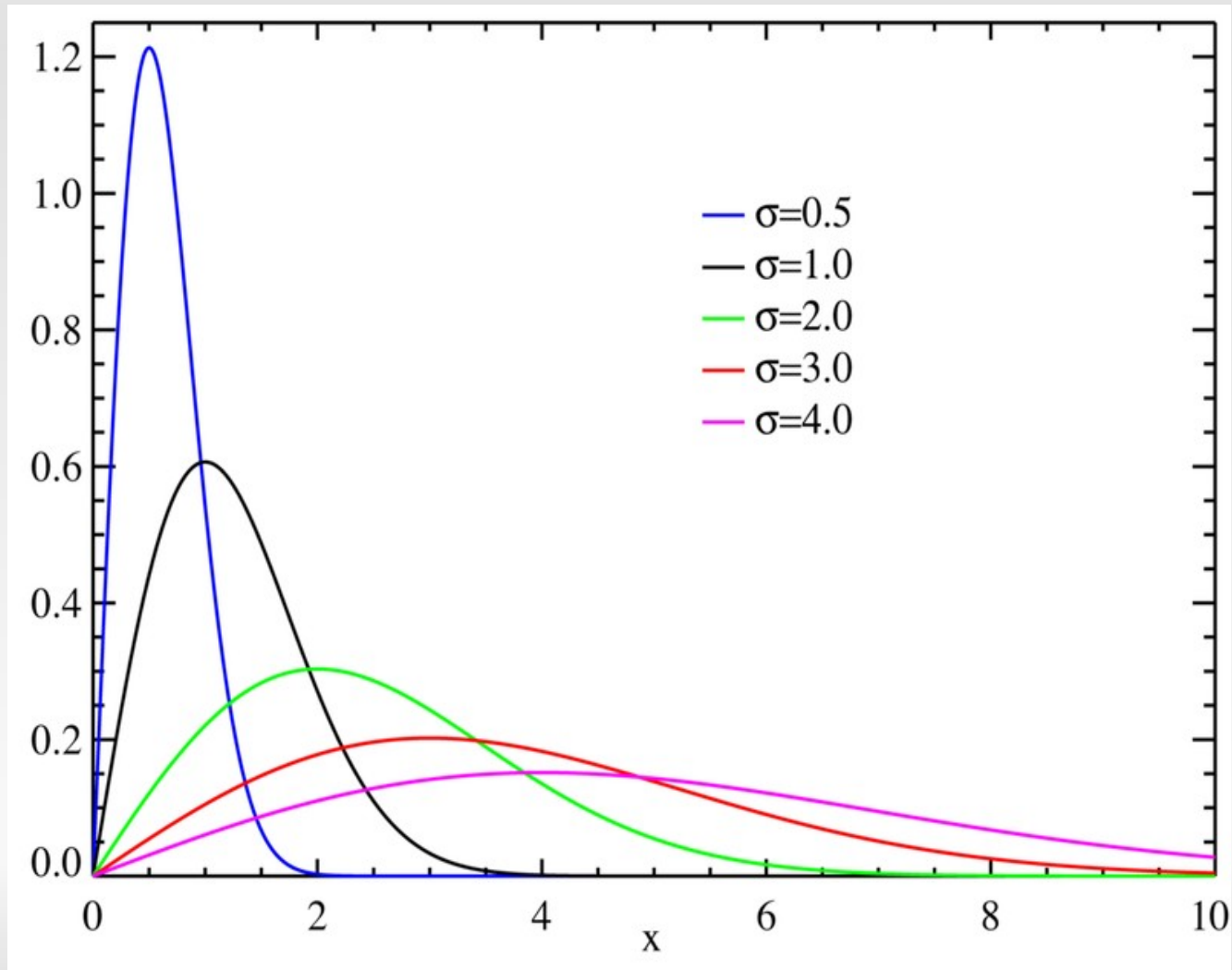
- Densidad de probabilidad Rayleigh:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & 0 \leq x < \infty \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

- X : amplitud del voltaje de la señal en recepción
- $2\sigma^2$: potencia recibida

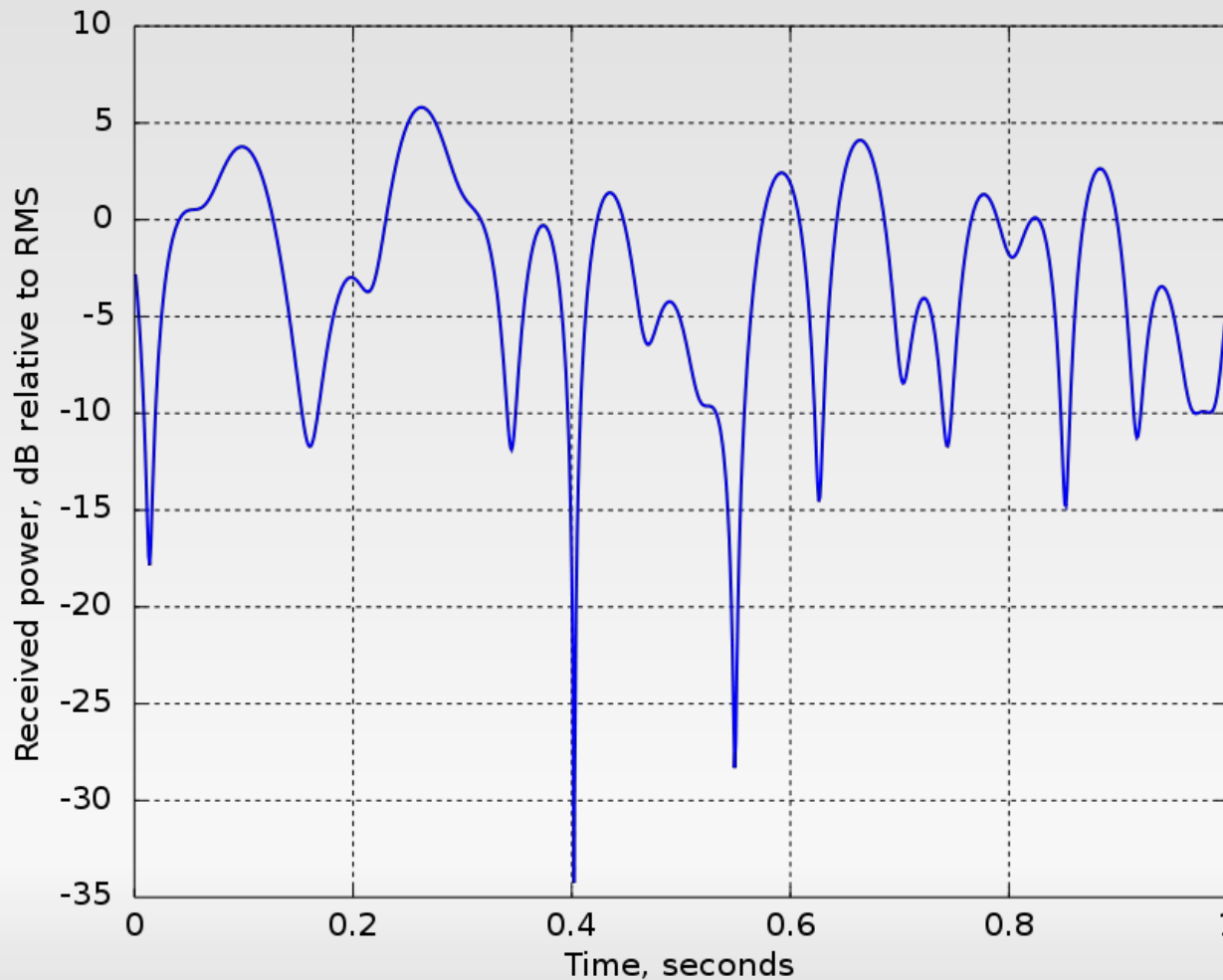
Modelos de Canal Multicamino

- Función Densidad de probabilidad Rayleigh



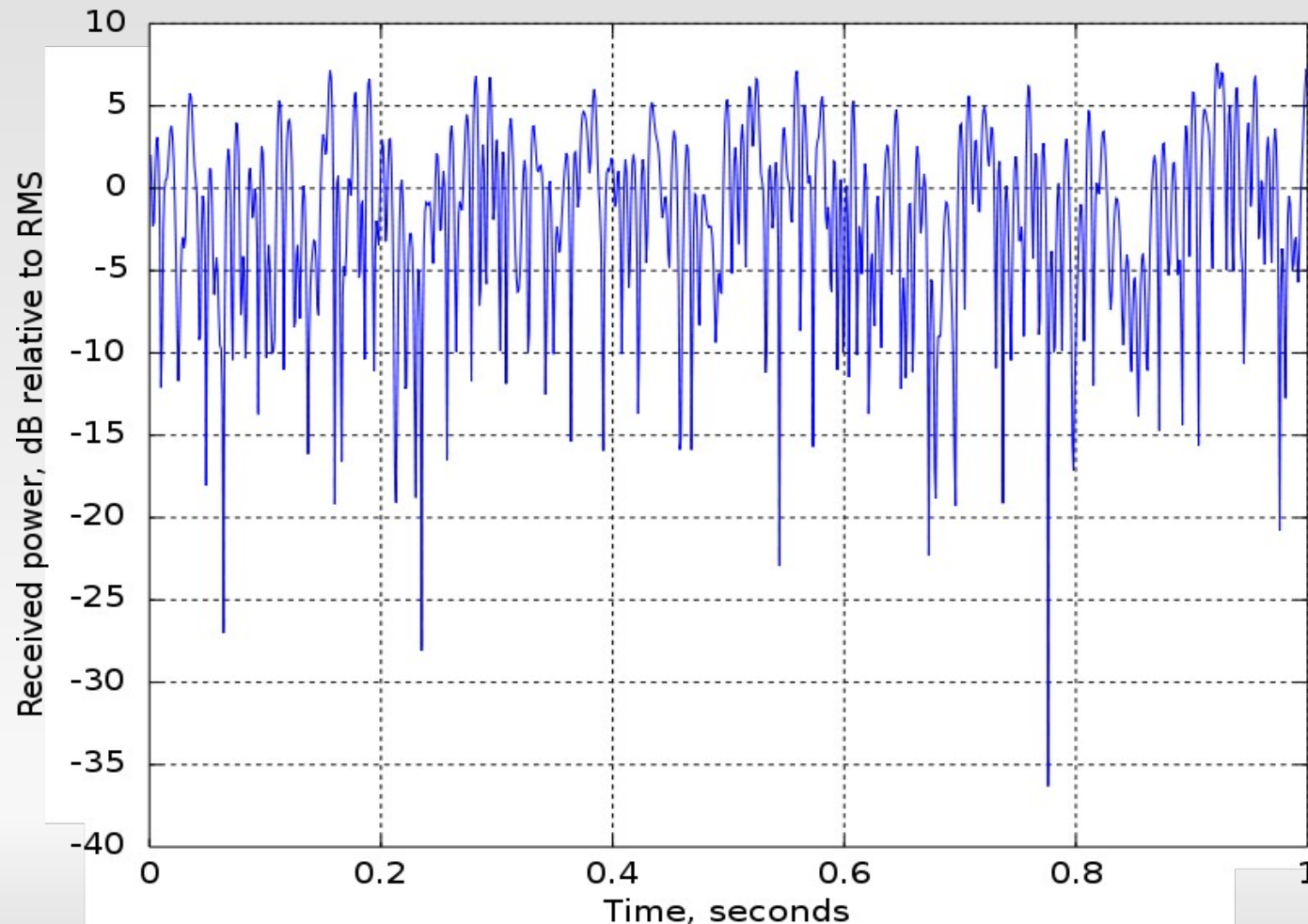
Modelos de Canal Multicamino

- Ejemplo Desvanecimiento Rayleigh, frecuencia de Doppler 10 Hz



Modelos de Canal Multicamino

- Ejemplo Desvanecimiento Rayleigh, frecuencia de Doppler 100Hz



Modelos de Canal Multicamino

- Ricean
 - La amplitud de la señal compleja recibida es suma de fasores complejos cada uno con magnitud y fase
 - Se puede descomponer en fase y cuadratura
 - LOS - Existe una componente principal dominante asociada a la línea de vista
 - <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/ricepdf/rice.htm>

Modelos de Canal Multicamino

- Ricean
 - Densidad de Probabilidad Ricean:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{\frac{-(x^2 + A^2)}{2\sigma^2}} \cdot I_0\left(\frac{Ax}{\sigma^2}\right), & A \geq 0, x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

Modelos de Canal Multicamino

- Parámetros Ricean:

- A : Amplitud de pico de la señal dominante
- I_0 : Función de Bessel modificada, del primer tipo y orden cero (exponencial)
- $2\sigma^2$: Potencia media de las componentes NLOS

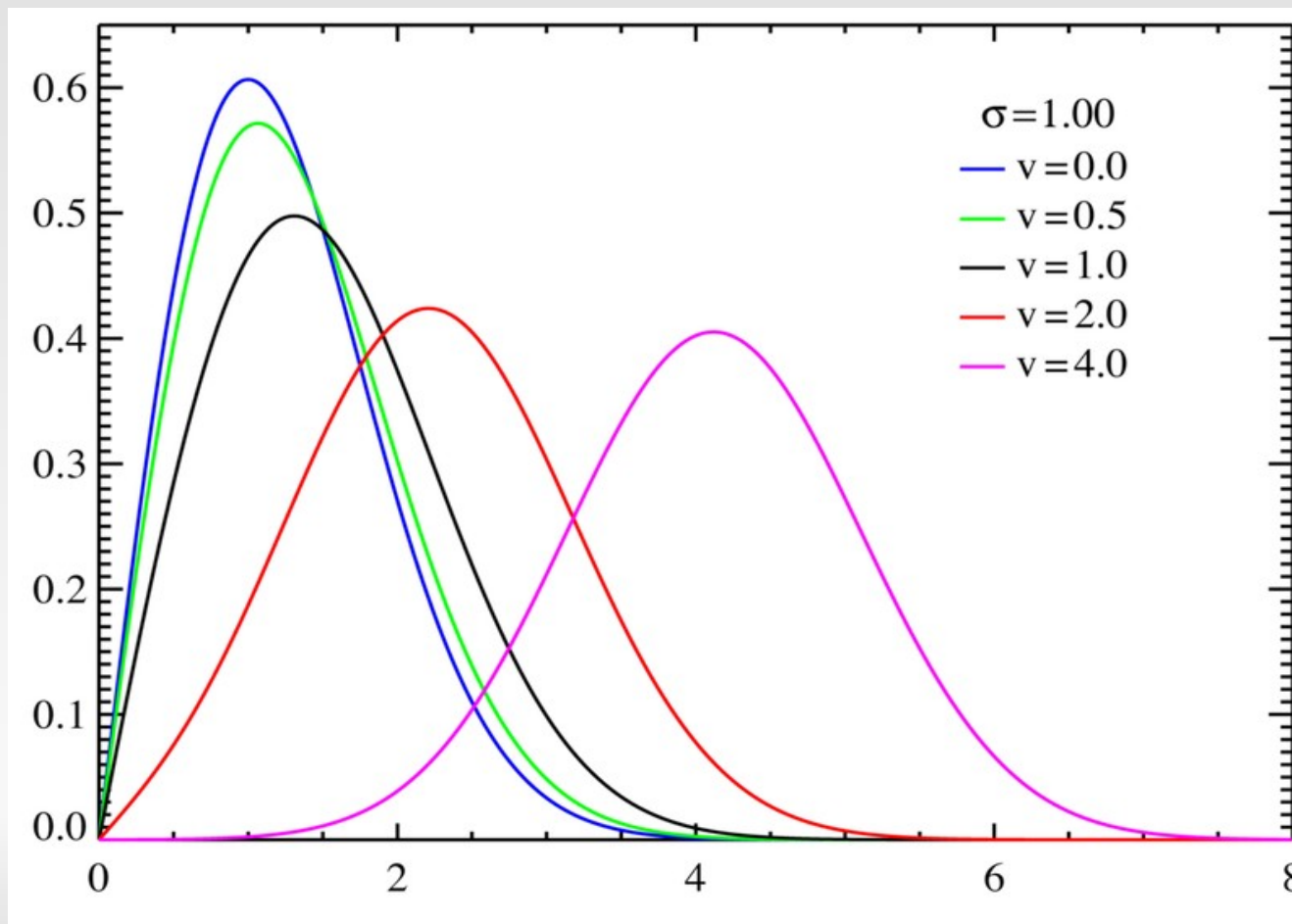
$$k = \frac{\text{potencia directa}}{\text{potencia dispersa}} = \frac{A^2}{2\sigma^2}$$

- Factor de Ricean:

- Obs: Cuando A tiende a 0, la distribución de Ricean tiende a la distribución Rayleigh

Modelos de Canal Multicamino

- Función Densidad de probabilidad Ricean
 - $\nu = A$



Modelos de Canal Multicamino

- Modelos de Banda Ancha:
 - Caracterizan desvanecimiento selectivo en frecuencia y en el tiempo
 - Típicamente hay dispersión en el retardo y si el canal es móvil, también habrá dispersión Doppler
 - Las componentes en Rx se pueden discriminar
 - Hipótesis: $\tau_{rms} > \frac{1}{B_C}$
 - Se considera al canal como un sistema LTV: Variante en el tiempo y lineal

Modelos de Canal Multicamino

- Se caracteriza al sistema por su respuesta al impulso $h(\tau, t)$
- La función de autocorrelación de la respuesta al impulso define al sistema:

$$\Phi_h(\tau_1, \tau_2, t_1, t_2) = E[h(\tau_1, t_1)\bar{h}(\tau_2, t_2)]$$

Modelos de Canal Multicamino

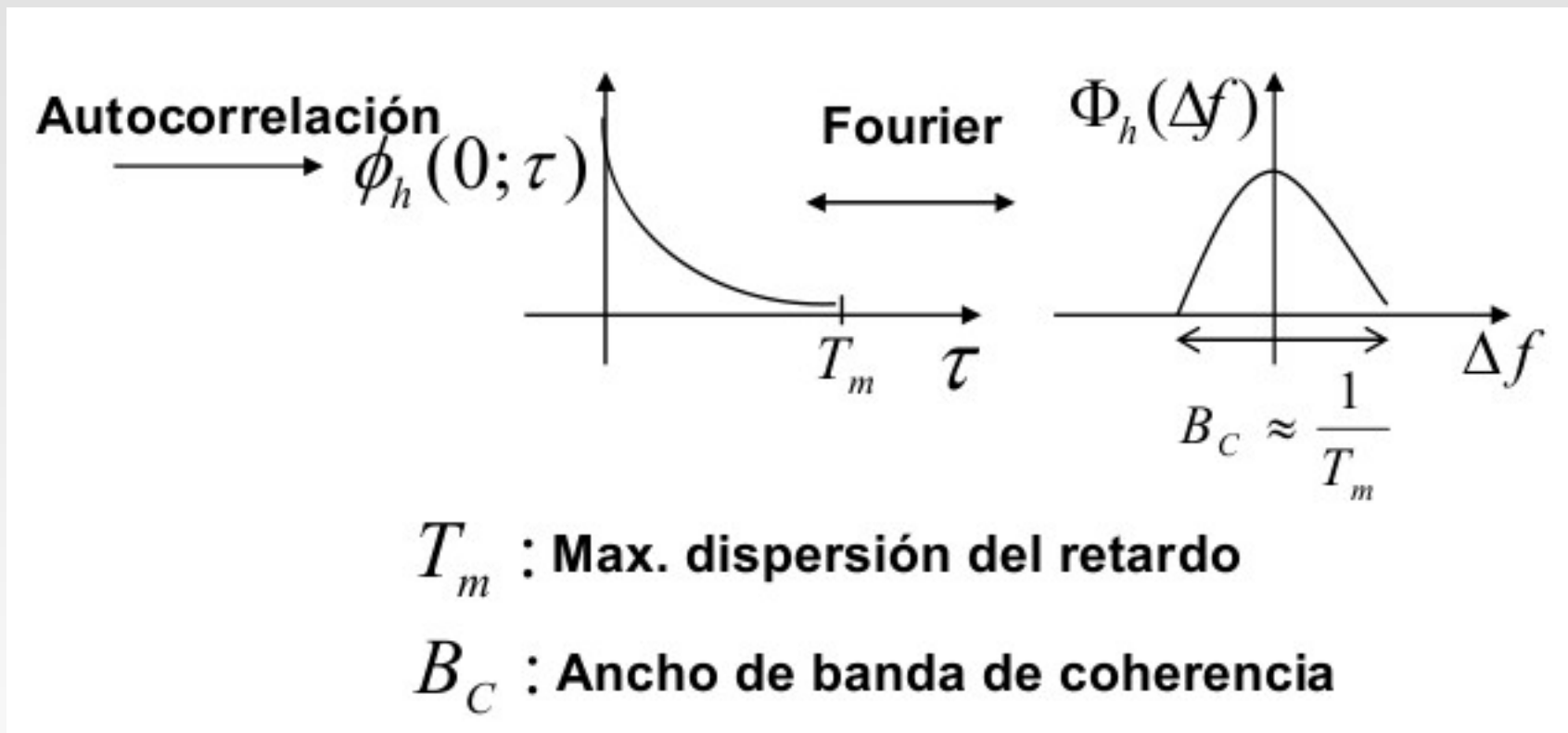
- WSSUS: Modelo estadístico del canal
 - Estacionario en sentido amplio (WSS- wide sense stationary): $h(\tau, t)$

es invariante en cortos períodos de tiempo, osea que depende de la diferencia $\Delta t = t_1 - t_2$
 - Los caminos son decorrelacionados (US – uncorrelated scattering), es decir ϕ_h

es cero para todo $\tau_1 \neq \tau_2$
 - Se trabaja con $\phi_h(\tau) \equiv \phi_h(0, \tau)$

Modelos de Canal Multicamino

- Ejemplo: Dispersión del retardo y ancho de banda de coherencia:



Modelos de Canal Multicamino

■ WSSUS

- Existen diversas funciones de transferencia que caracterizan el canal, denominadas *funciones del sistema* que se derivan de la respuesta al impulso variante en el tiempo
- Si aplicamos la transformada de Fourier a $h(\tau, t)$ obtendremos la función de transferencia variante en el tiempo:

$$H(f, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau, t) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

- En vez de trabajar con la respuesta al impulso del canal se trabaja con el perfil de potencia de la señal recibida y sus transformadas.

Modelos de Canal Multicamino

- WSSUS
 - A partir de la autocorrelación de la respuesta al impulso del sistema se puede obtener:
 - las funciones de densidad de probabilidad de τ, f_D
 - Se define el tiempo de coherencia y el ancho de banda de coherencia

Modelos de Canal Multicamino

- WSSUS: Modelo matemático
 - Canal con P caminos de propagación

$$h(\tau, t) = \frac{1}{\sqrt{P}} \sum_{p=1}^P \delta(\tau - \tau_p) e^{j(2f_{D,p}t + \theta_p)}$$

- τ_p : retardo asociado a c/camino
- $f_{D,p}$: frecuencia Doppler asociada a c/camino
- θ_p : fase asociada a c/camino
- P debe ser suficientemente grande
- Se proponen *pdf* conocidas para cada parámetro

Desempeño del Canal

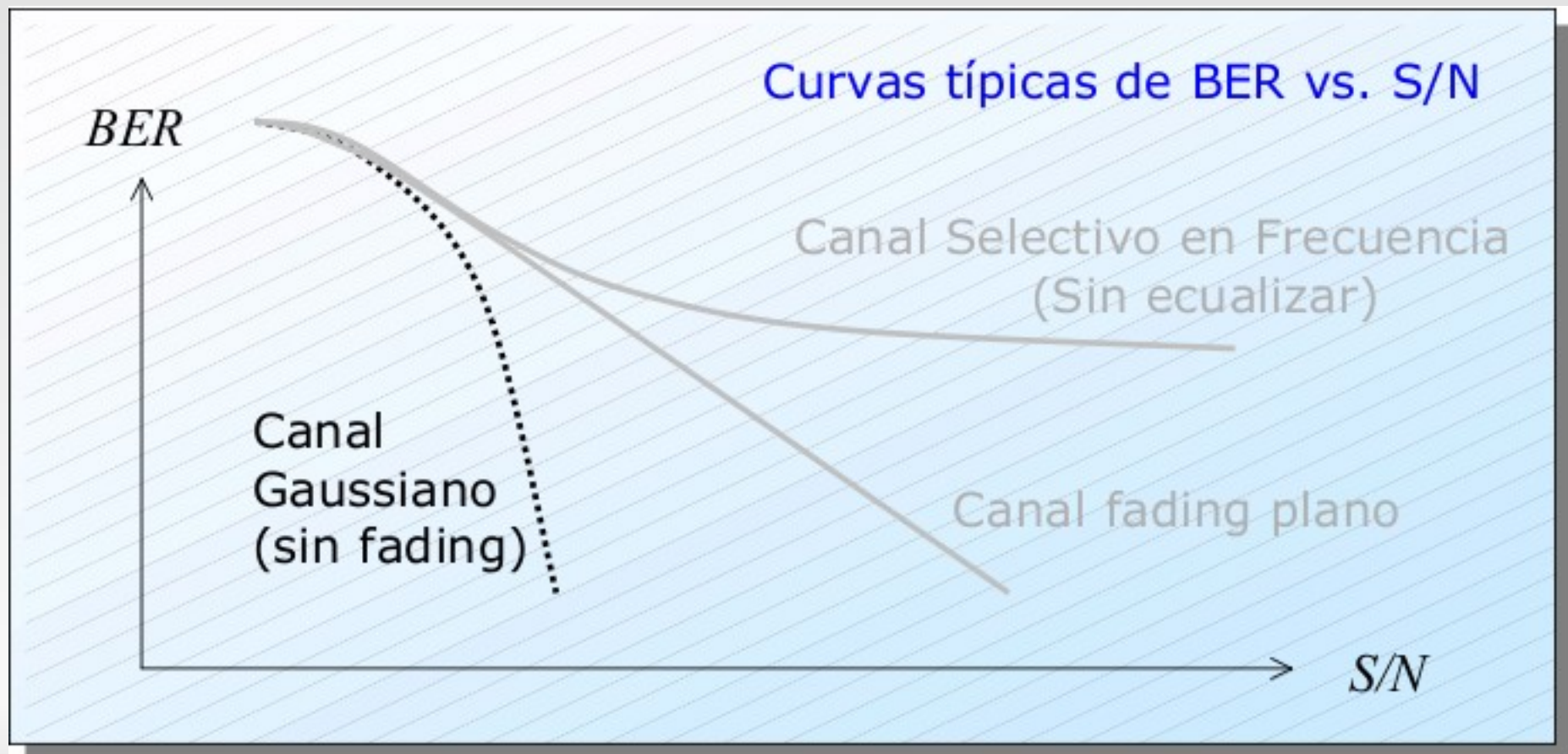
- En los sistemas de comunicación inalámbrica es preciso lograr un mínimo nivel de señal en recepción, denominado umbral
- El desempeño de un sistema depende de cuánto dure y se repita el desvanecimiento de la señal en Rx
- Se definen parámetros asociados a la frecuencia y duración del desvanecimiento por debajo del umbral
- Para los sistemas digitales se asocia la tasa de error de bit con la relación señal a ruido (*BER vs SNR*)

Desempeño del Canal

- Tasa de desvanecimiento:
 - Cantidad de veces por segundo que el nivel de señal en Rx cae por debajo de cierto umbral
- Duración del desvanecimiento:
 - Es el valor promedio de un período de desvanecimiento
- Probabilidad de fuera de servicio (outage):
 - Multiplicando la tasa de desvanecimiento por la duración promedio obtengo la probabilidad de que la señal esté por debajo del umbral
- Disponibilidad = $1 - \text{Probabilidad de outage}$

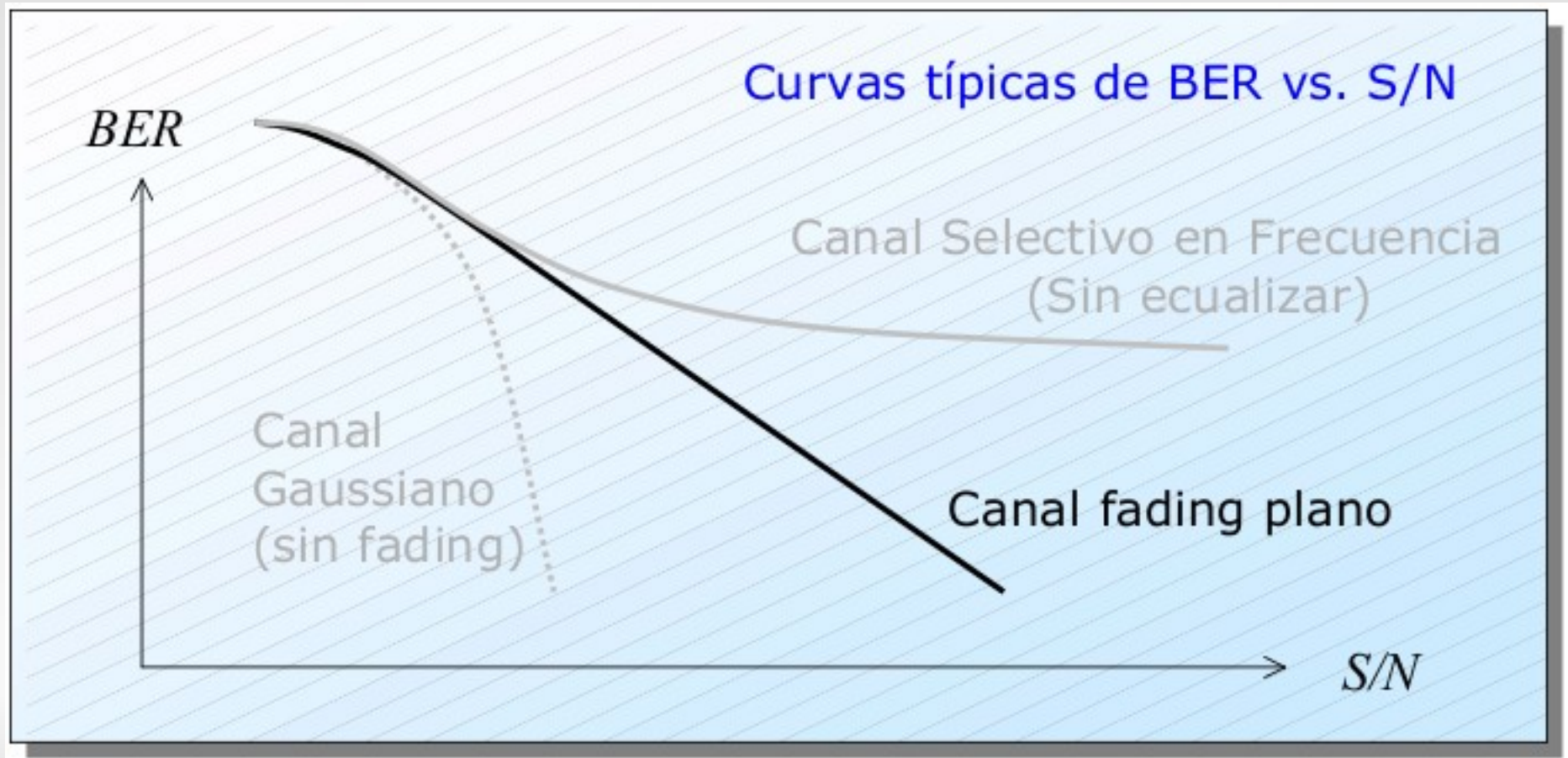
Desempeño del Canal

- AWGN:



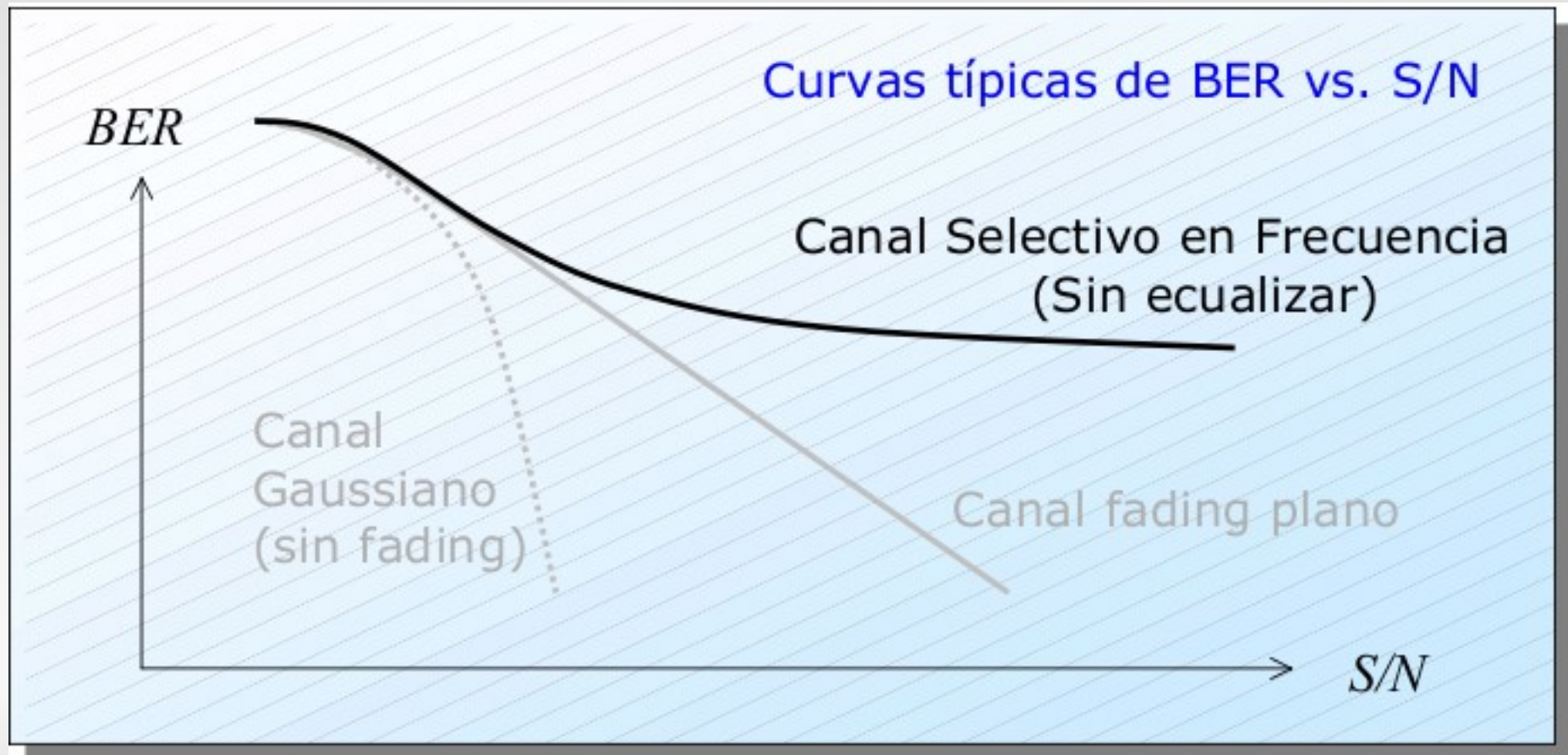
Desempeño del Canal

- Desvanecimiento plano:



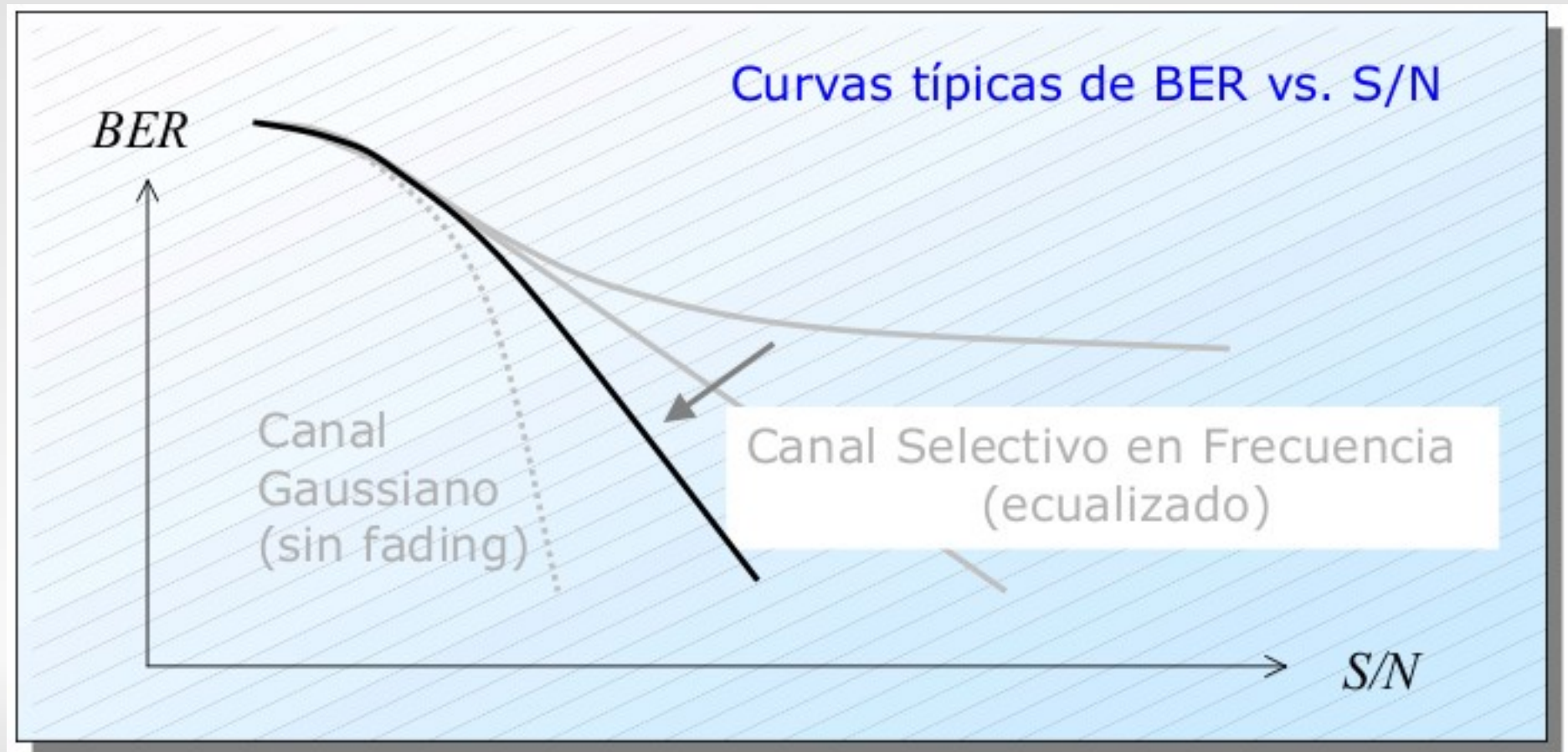
Desempeño del Canal

- Desvanecimiento selectivo en frecuencia



Desempeño del Canal

- Desvanecimiento selectivo en frecuencia compensado con diversidad multicamino:



Resumen

- Modelos de Canal estadísticos para el desvanecimiento multicamino:
 - Rayleigh (NLOS) – Desvanecimiento plano
 - Ricean (LOS) – Desvanecimiento plano
 - WSSUS – Desvanecimiento selectivo en frecuencia
- Duración y frecuencia del desvanecimiento
- Disponibilidad
- Desempeño

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
- <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/contents.htm#propagation>