

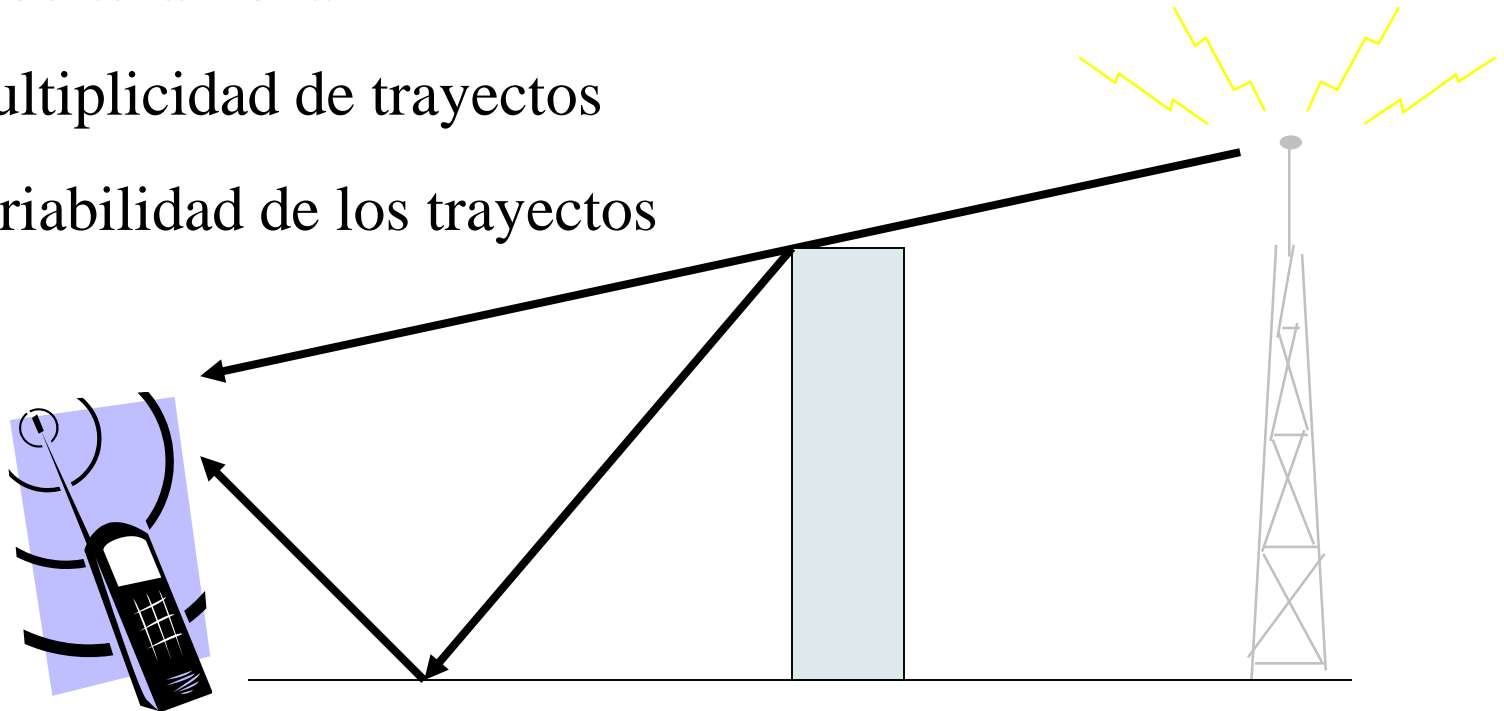
# PROPAGACION POR CANALES MOVILES

I.Eo. Jhon Jairo Padilla Aguilar

# Características del canal móvil

---

- 1) Cobertura Zonal
- 2) Multiplicidad de trayectos
- 3) Variabilidad de los trayectos



# Actividades relacionadas con la propagación en la Planeación del proyecto

---

- 1) Caracterización del canal móvil en Banda estrecha
- 2) Caracterización del canal móvil en Banda ancha
- 3) Desarrollo de modelos de simulación
- 4) Realización de medidas radioeléctricas



# 1. Caracterización del canal móvil en Banda estrecha

---

**Objetivo:** Determinar la pérdida básica de propagación entre el transmisor y múltiples puntos situados en la zona de cobertura (métodos de predicción de pérdidas)

**Porque?:**

- Se requiere delimitar la región cubierta por un transmisor
- Estudio de interferencias entre estaciones que utilicen las mismas frecuencias.

**Pérdida básica:**

$$L_b = L_{bf} + L_{ex} + L_{ent}$$

$L_{bf}$ : Pérdidas de espacio libre;  $L_{ex}$ : Pérdidas por el terreno entre Tx y Rx;  $L_{ent}$ : Pérdidas por el entorno inmediato al Rx.

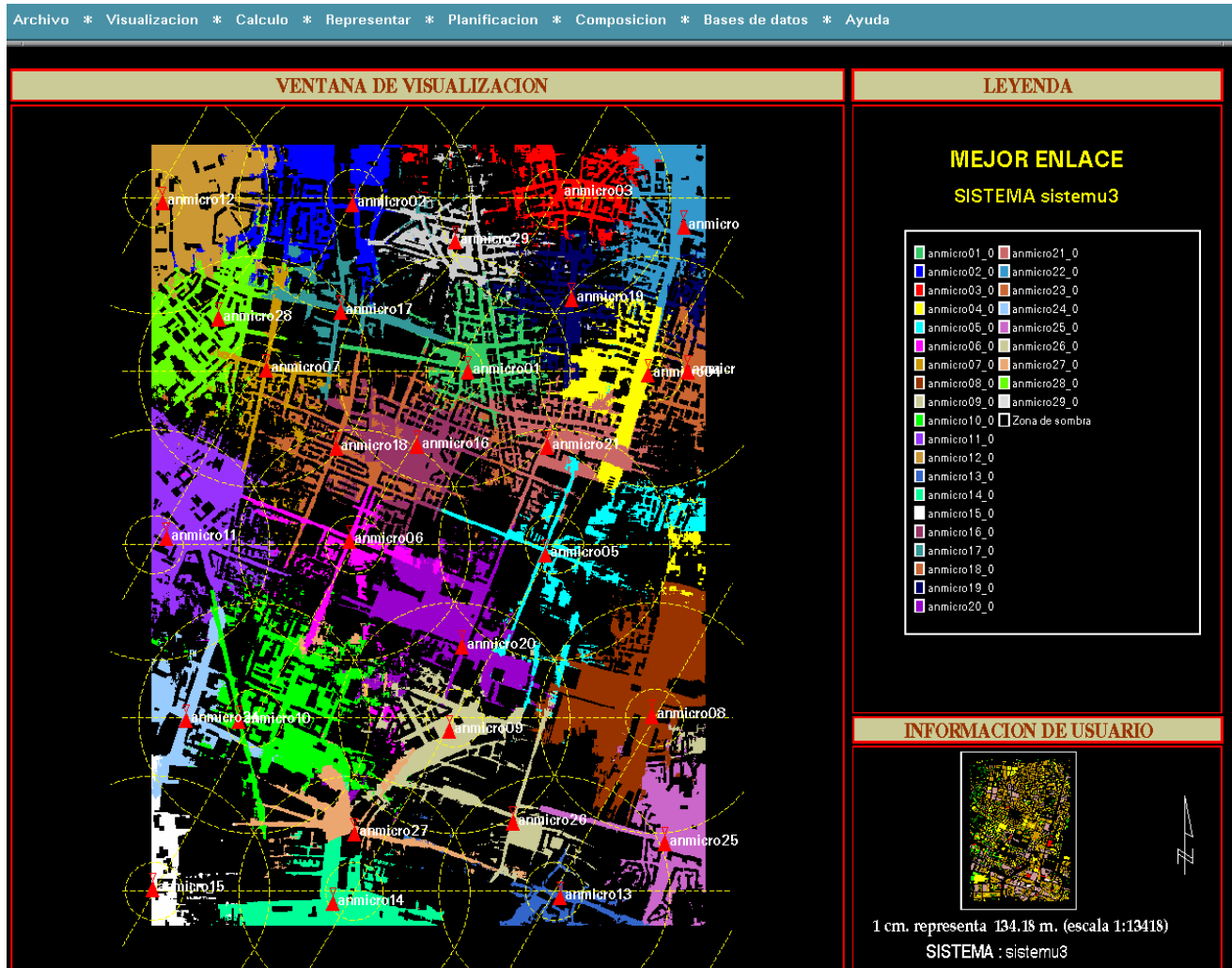
# Métodos de predicción de pérdidas de propagación

---

- **Compromiso:** Exactitud, complejidad, Tiempo de cálculo.
- **Fase inicial:** Curvas estándar o fórmulas empíricas (sencillos y menor precisión). Usados sobre 12 perfiles radiales.
- El uso de los computadores ha permitido utilizar otros métodos que usan teorías de Reflexión, refracción, difracción.

- Se usan **programas informáticos**. Estos calculan perfiles desde la BS a pixeles de terreno de 200x200m.
- Deben tener en cuenta parámetros como: Obstáculos, caract. Eléctricas del terreno, caract. Climáticas, frecuencia y polarización de ondas.
- Se supone que la propagación es simétrica en los dos sentidos.

# Modelo por computador



## 2. Caracterización del canal en Banda ancha

---

**Objetivo:** Analizar el efecto de la propagación multitrayecto en la tasa de errores (BER) de las comunicaciones móviles digitales.

**Porqué?** El canal móvil produce distorsión de la señal recibida, lo que produce errores en los bits transmitidos.

**Cómo?** Los modelos teóricos son complejos. Se prefiere emplear simulación.

### 3. Desarrollo de modelos de simulación

---

Se realiza en comunicaciones móviles de banda ancha.

#### **Objetivos:**

- Estudiar la influencia de las pérdidas de propagación en la BER del enlace móvil digital.
- Valorar efectos de medidas correctivas como recepción por diversidad, codificación del canal, etc.

**Cómo?** El canal se modela como un filtro variable consistente en una red de varias etapas, cada una de las cuales simula un trayecto. (Modelos HW y SW)



## 4. Realización de medidas radioeléctricas

---

Los modelos de predicción de propagación y modelos de simulación deben validarse.

Las medidas se usan para:

- Resolver situaciones de cobertura dudosa
- Detectar interferencias
- Perfeccionar métodos de predicción (ej. Microceldas)

**Tipos:** Banda estrecha, banda ancha



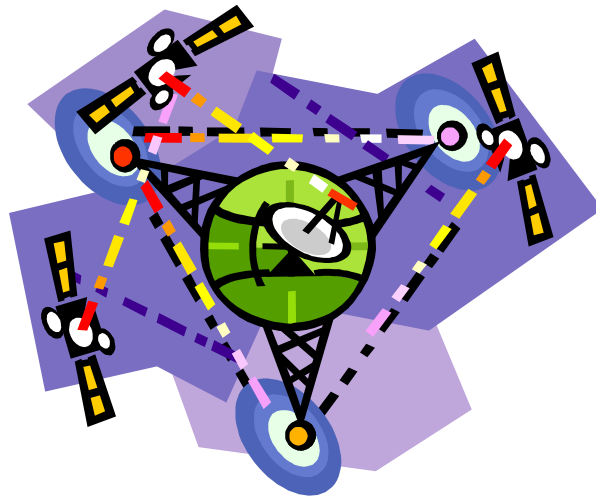
# Ejemplo de mediciones

EMISOR Y EMPLAZAMIENTO		CARACTERÍSTICAS	LUGAR MEDICIÓN		VALORES MEDIDOS		VALORES MÁXIMOS REFERENCIA (RD 1066/2001)		
TIPO (OPERADOR)	COORDENADAS	FRECUENCIA - BANDA (MHz)	UBICACIÓN de la MEDICION	DISTANCIA AL EMISOR (m)	INTENSIDAD PICO CAMPO ELÉCTRICO "E" (V/m)	INTENSIDAD MEDIA CAMPO ELÉCTRICO "E" (V/m)	DENSIDAD DE POTENCIA EQUIVALENTE "S" (µW/cm2)	INT. CAMPO ELÉCTRICO "E" (V/m)	DENSIDAD DE POTENCIA EQ. "S" (µW/cm2)
1°) RADAR PARACUELLOS I - Cra. Berrocales (AENA)	40° 29' 30,84" N 03° 31' 17,59" W	1030 MHz (SSR) xxxx MHz (comprobado entre 30 KHz y 3 GHz que era el rango de medida del instrumento) (PSR)	Entrada a SUSAETA, en una línea imaginaria entre los 2 radares.	130	0,99	0,17	0,0077	44,13	516,57
			Base del radar junto a oficinas SUSAETA.	120	1,13	0,73	0,1414		
2°) RADAR PARACUELLOS II - Pso. del Radar (AENA)	40° 29' 58,90" N 03° 31' 26,56" W	1030 MHz (Secondary SR) xxxx MHz (Primary SR)	Av. La retamosa (sector 5 MM)	80	0,78	0,54	0,0773	44,13	516,57
			En 1° piso de vivienda en Av. Los deportes (sector 4A MM)	120	1,16	0,86	0,1962		
3°) CENTRO DE EMISORES VHF (AENA) frente a cementerio	40° 30' 08,96" N 03° 31' 21,22" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible)	En ventana 1° piso vivienda c/Oceano Pacífico, 8	70	0,66	0,08	0,0017	41,25	451,35
			En Instituto secundario, patio proximo a antenas.	300	1,18	0,87	0,2008		
			En Instituto secundario, parte posterior edificio	400	0,57	0,1	0,0027		
4°) TELEFONÍA - Pso. del Radar (junto a Colegio Infantil)	40° 30' 16,26" N 03° 31' 45,33" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible)	Esquina Av. Paseo del radar y Av. Andalucía	50	0,51	0,35	0,0325	41,25	451,35
			En la puerta del colegio	100	0,87	0,66	0,1155		
			En "parque seco" detrás del colegio	50	0,65	0,27	0,0193		
5°) TELEFONÍA - "LOS BERROCALES"	40° 28' 44,04" N 03° 30' 43,01" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible) (1)	En c/Paseo las arroyas, 6	70	0,55	0	0,0000	41,25	451,35
			Dentro de club social junto a juegos infantiles	80	0,42	0	0,0000		
6°) Antena repetidora TV - Sector 4 Miramadrid	40° 29' 45,13" N 3° 31' 14,08" W	Foco sin emitir ¿ TV terrestre: 470 a 862 MHz (incluye TDT)?	En parcela c/Neptuno (sector 5 MM)	30	1,01	0,21	0,0117	41,25	451,35
			En parque junto a Av. Circunvalacion (sector 5 MM)	45	0,64	0,02	0,0001		
7°) Centro antenas AENA y telefonía en Parque las Heras (Picon del cura)	40° 29' 24,40" N 3° 32' 03,11" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible)	Junto a juegos infantiles en Picon del cura	120	1,12	0,7	0,1300	41,25	451,35
			En 1° piso de vivienda en c/Ronda de las cuestras,50	30	1,02	0,17	0,0077		
			c/Ronda de las cuestras, 71	50	0,61	0,41	0,0446		
8°) TELEFONÍA - SECTOR 1 Miramadrid c/El Nogal	40° 30' 30,40" N 3° 31' 04,07" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible)	M113 , glorieta c/Sierra morena	800	0,45	0,03	0,0002	41,25	451,35
			M113 en punto perpendicular a la antena, situado entre las 2 glorietas	40	0,5	0,08	0,0017		
9°) TELEFONÍA - SECTOR 10 Miramadrid, Av. Juan Pablo II, 50	40° 30' 07,05" N 3° 30' 28,38" W	900 - 1800 -1900 MHz (frecuencia específica no disponible)	Edificios en Av. San Pablo y Ntra. Señora de Belvis	70	0,72	0,17	0,0077	41,25	451,35
			Edificio en Av. San Pablo, 55	70	1,77	0,2	0,0106		
			Av. San Pablo y Valdediego	80	1,78	0,56	0,0632		
10°) ANTENA - SECTOR 3 Miramadrid, junto a colegio concertado.	40° 30' 16,35" N 3° 31' 15,92" W	Radiogoniometro receptor de Insp. Telecomunicaciones, no emite	Av. De los deportes y M-113	50	0,8	0,45	0,0537	41,25	451,35

[http://www.jaramadirecto.com/noticias/images/tabla\\_contaminacion\\_electromagnetica.jpg](http://www.jaramadirecto.com/noticias/images/tabla_contaminacion_electromagnetica.jpg)

---

# Características básicas de la propagación por canales móviles



# Variabilidad de la propagación

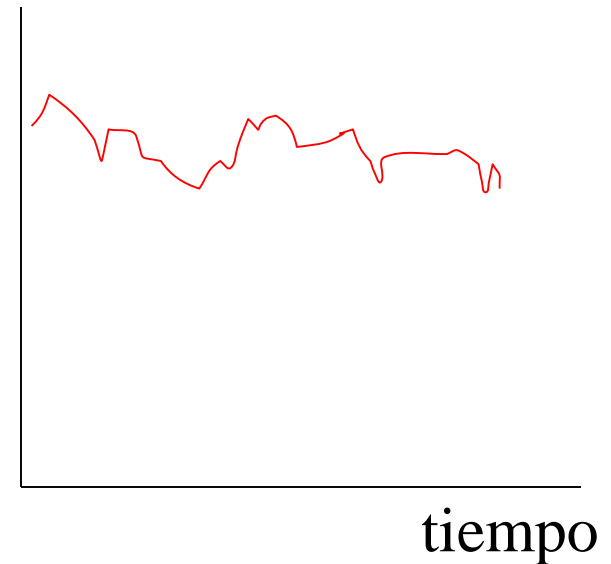
---

La señal del canal móvil tiene muchas variaciones de nivel.

**Causa:** El nivel de la señal depende de la ubicación del terminal del usuario, el cual se mueve. Esto produce variaciones de la señal en el tiempo.

**Importante:** Para una potencia transmitida fija, la potencia recibida es una variable aleatoria.

Potencia



# Cálculo de la pérdida básica de propagación (I)

---

$$L_b(d) = k * d^n$$

k: Constante. Depende del tipo de terreno, la frecuencia y la altura de las antenas. Es la pérdida para una distancia de referencia ( $k=l_0$ ).

n: Depende del medio de propagación y de la altura de la antena de referencia.

En dB:

$$L_b(d) = L_0 + 10 n \log d \quad \text{Ley de Punto pendiente}$$

(valor mediano)

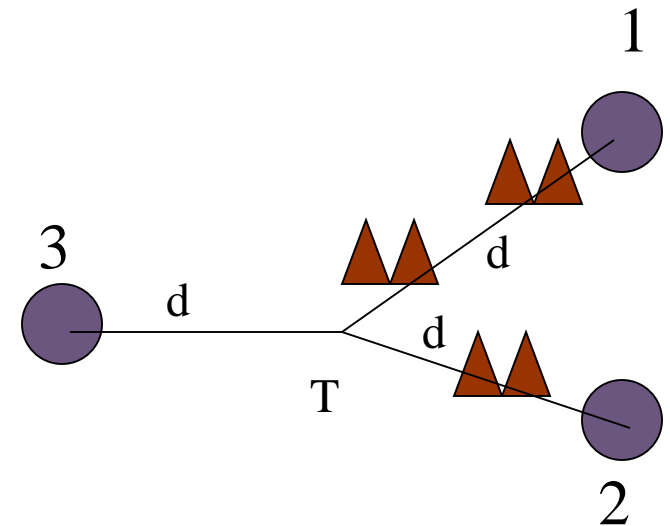
# Cálculo de la pérdida básica de propagación (II)

---

Se debe introducir el efecto aleatorio:

1) Efecto de obstáculos, colinas, árboles, etc. : **Desvanecimiento Lento o por sombra (Shadow Fading)**

2) Efecto del entorno inmediato al móvil (círculo de radio  $100\lambda$ ) o multitrayecto: **Desvanecimiento rápido (fast fading)**



# Efecto del desvanecimiento Lento

---

Para adicionar el efecto del desvanecimiento lento en las pérdidas de la señal en un punto  $(x,y)$ , se agrega una función aleatoria  $g(x,y)$  así:

$$l_b(d) = l(d) * g(x,y)$$

Donde  $l(d) = k * d^n$

Tras numerosas mediciones experimentales se ha llegado a la conclusión de que  $g(x,y)$  puede modelarse mediante una variable aleatoria gaussiana log-normal.

# Efecto del desvanecimiento Lento

---

Por tanto, las pérdidas en dB serán:

$$L_b(d) = L(d) + G(x, y)$$

$$\text{Siendo } L(d) = L_0 + 10n \log d$$

$G(x, y)$ : Variable aleatoria gaussiana de media cero y desviación típica  $\sigma$ (dB).

$\sigma$  caracteriza la variabilidad del desvanecimiento lento. Depende del tipo de medio (rural o urbano), de la extensión de la zona y de la ondulación de terreno circundante.



# Efecto del desvanecimiento rápido

---

El desvanecimiento rápido es significativo en recorridos con una longitud de  $40\lambda$  aproximadamente.

Se agrega a la pérdida de propagación un factor  $r(t,f)$  que depende de la distancia (o el tiempo para una velocidad conocida del receptor) y de la frecuencia:

$$l_b(d) = l(d) * g(x,y) * r(t,f)$$

$r(t,f)$  es una variable aleatoria proporcional al cuadrado de una magnitud que sigue una distribución Rayleigh.

# Efecto del desvanecimiento rápido

---

La pérdida básica en dB será entonces:

$$L_b(d) = L(d) + G(x,y) + R(t,f)$$

Si se promedia el valor de las pérdidas al rededor de un pequeño recorrido del receptor, el valor medio de la pérdida en ese entorno será la *Media Local*:

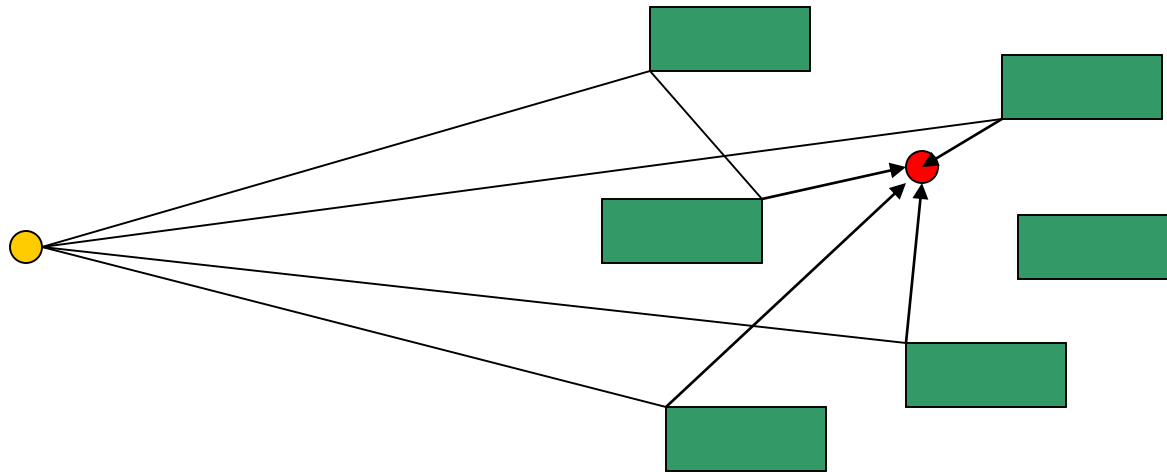
$$L_{bml}(d) = L(d) + G(x,y) \quad \text{ya que la media de } R \text{ es cero.}$$

Si se promedia el valor de las pérdidas al rededor de un recorrido largo del receptor y a distancia constante del transmisor, se obtiene la *Media Zonal*:

$$L_{bmz} = L(d) \quad \text{ya que la media de } G(x,y) \text{ es cero.}$$

# Comportamiento de una señal con propagación multitrayecto

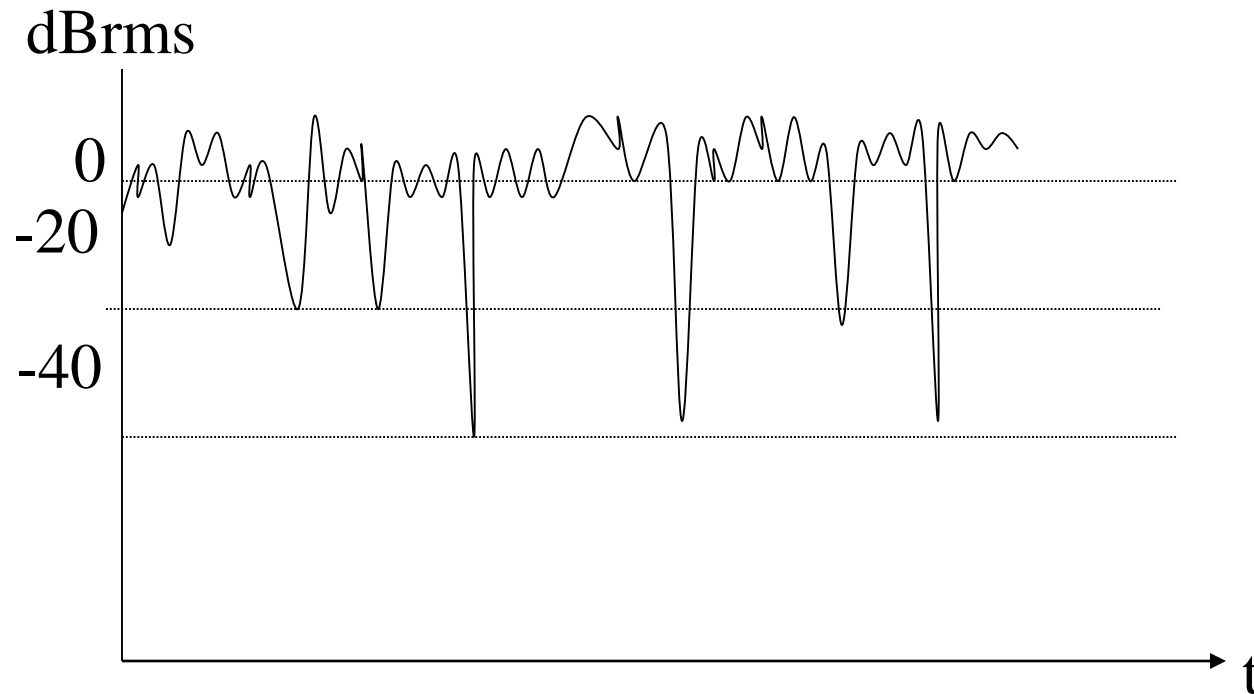
---



Al receptor llegan varias componentes a través de diferentes caminos. Tales componentes llegan en diferentes tiempos y con amplitudes y fase Aleatorias.

# Comportamiento de una señal con propagación multitrayecto

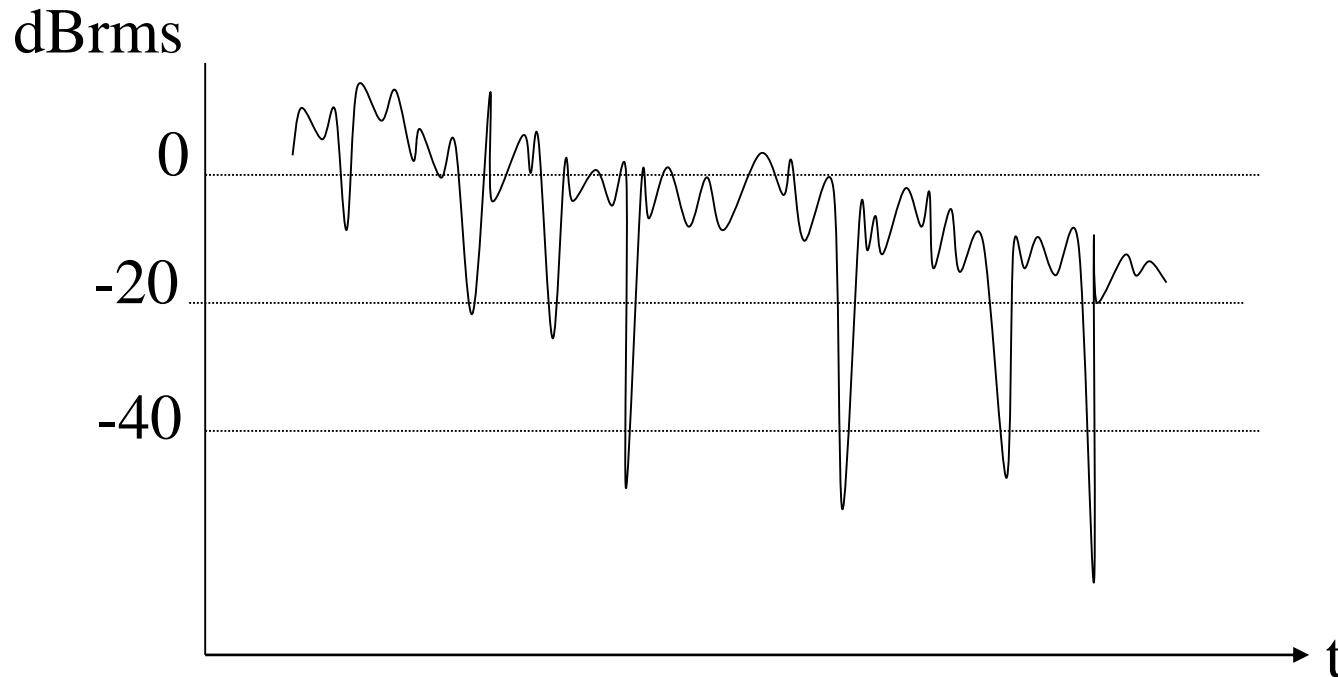
---



Patrón de ondas estacionarias (el móvil se mueve a velocidad constante). Señal con media Local.

# Comportamiento de una señal con Desvanecimientos rápido y lento

---



La media varía lentamente y la señal tiene variaciones Rápidas.  
La variación de la media viene dada por el Desvanecimiento lento. El promedio es la media zonal.

# Distribuciones estadísticas de la propagación radioeléctrica

---

<b>Distribución</b>	<b>Tipo de Desvanecim.</b>	<b>Entorno</b>	<b>Aplicación</b>
Gaussiana (normal)	Lento	Rural, urbano	Comunic. Analógicas
Rayleigh	Rápido	Urbano NLOS	Comunic. Digitales
Rayleigh-LogNormal	Mixto (lento+rápido)	Urbano NLOS	Comunic. Digitales
Rice	Rápido	Urbano LOS-NLOS	Comunic. Digitales

# Distribución Gaussiana del campo eléctrico

# Definición de una V.A. Normal

---

- ▶ Una v.a.  $X$  con función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- ▶ Tiene una distribución normal con parámetros

- ▶ Además, la media y la varianza son:

$$\mu: -\infty < \mu < \infty$$

$$\sigma > 0$$

$$E(X) = \mu$$

$$V(X) = \sigma^2$$

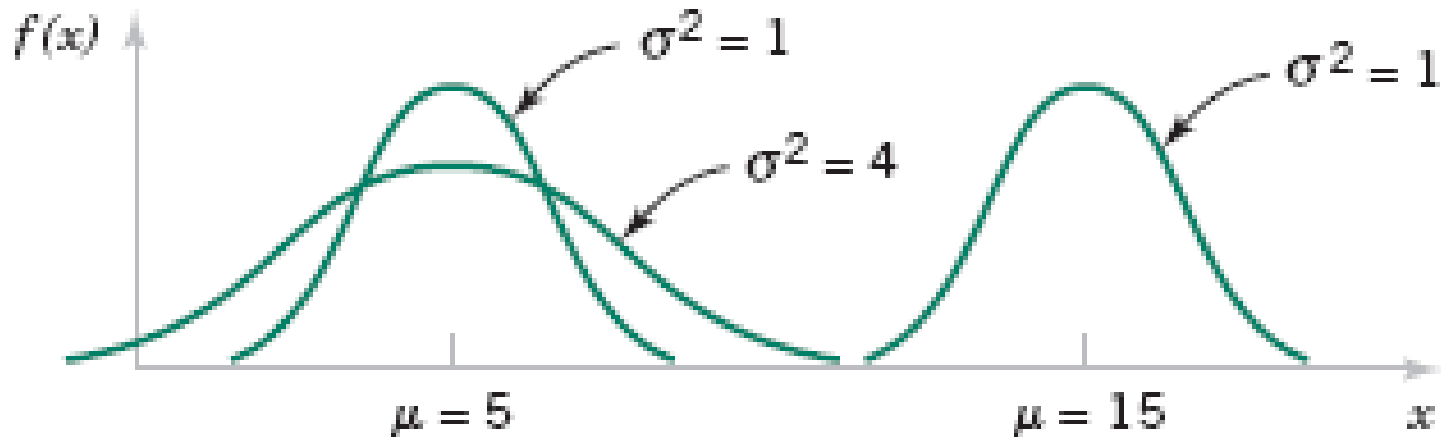
---





# Forma de la Distribución Normal

---



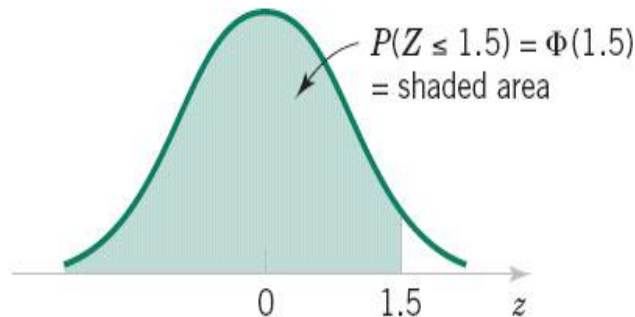
Forma de la distribución normal para diferentes valores de  $\mu$  y  $\sigma^2$



# Variable Aleatoria Normal estándar

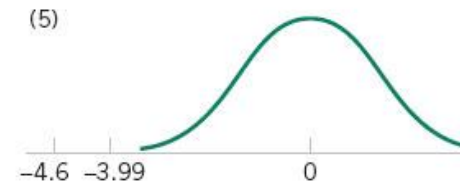
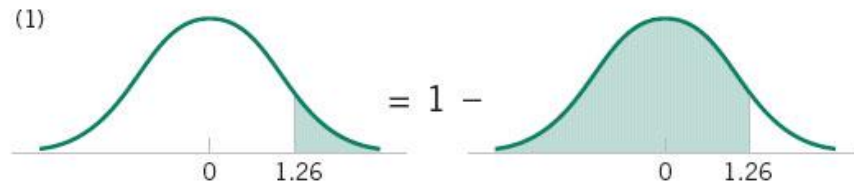
- ▶ A una v.a. normal con  $\mu=0$  y  $\sigma^2=1$  se le llama **variable aleatoria normal estándar**. Una v.a. normal estándar se denota como **Z**.
- ▶ La **función de distribución de probabilidad acumulada**,  $\Phi(z)=P(Z\leq z)$ , de una v.a. normal estándar suele encontrarse en tablas y suele ser muy útil para hacer cálculos de otras distribuciones normales no estandarizadas.

Figure 4-13 Standard normal probability density function.

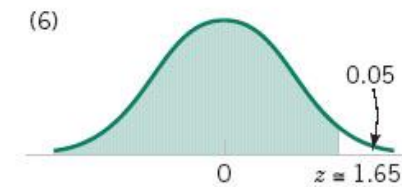
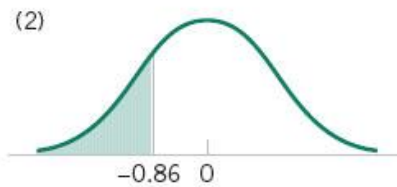


$z$	0.00	0.01	0.02	0.03
0	0.50000	0.50399	0.50398	0.51197
⋮		⋮		
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699

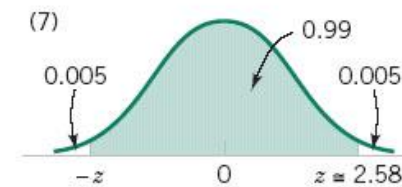
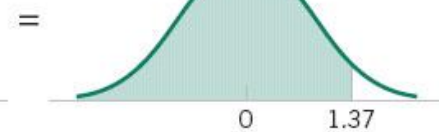
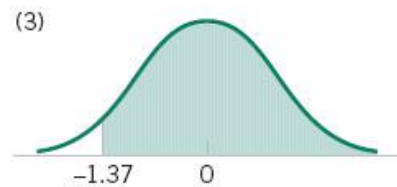
# Propiedades útiles de la distribución normal estándar



Aproximación de un valor de probabilidad que no existe en la tabla



Encontrar z dada la probabilidad



Encontrar z dada la probabilidad en un rango simétrico de z

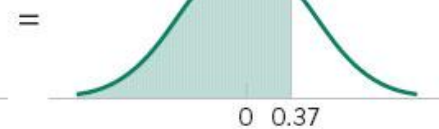
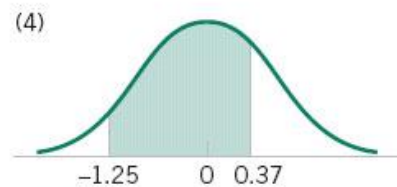


Figure 4-14 Graphical displays for standard normal distributions.



# Estandarización de una v.a. normal

---

- ▶ Para calcular las probabilidades de cada v.a. normal diferente se requiere una tabla diferente.
- ▶ Por fortuna, todas las distribuciones normales se relacionan algebraicamente.
- ▶ Se puede usar la tabla de probabilidades de la distribución normal estándar para calcular la probabilidad de cualquier otra distribución normal
- ▶ Se requiere entonces hacer una transformación simple de la v.a. normal original a la v.a. normal estándar. A este proceso se le llama **estandarización**.



# Estandarización de una v.a. normal

---

- ▶ Si  $X$  es una v.a. normal con  $E(X)=\mu$  y  $V(X)=\sigma^2$ , entonces la v.a.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

- ▶ Es una v.a. normal con  $E(Z)=0$  y  $V(Z)=1$ . Es decir,  $Z$  es una v.a. normal estándar.

- ▶ Por tanto,

$$P(X \leq x) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{x - \mu}{\sigma}\right) = P(Z \leq z)$$

- ▶ Es decir, la probabilidad se obtiene introduciendo el valor en la tabla de la función de distribución acumulada normal estándar



# Ejemplo

---

- ▶ Suponga que en una celda de telefonía celular, el campo eléctrico de la señal emitida por la estación base (denotado por  $E$ ) se distribuye en forma Gaussiana sobre el terreno. Suponga que se tiene un campo eléctrico medio de 40dB y una desviación típica de 8.3dB
- ▶ Se desea conocer:
  - ▶ El porcentaje de ubicaciones en que se rebasan los valores de 60dB y 30dB.
  - ▶ La probabilidad de una disminución respecto de la media de 35dB.
  - ▶ El valor de  $E$  que es rebasado con probabilidades del 90% (décilo inferior) y del 10% (décilo superior).



# Solución

---

## E>60dB:

- ▶ Estandarización:

$$Z = \frac{E - \mu}{\sigma} = \frac{E - 40}{8.3}$$

- ▶ Porcentaje de ubicaciones que superan 60dB:

$$Z = \frac{60 - 40}{8.3} = 2.41$$

Lo que se pide es  $P(z > 2.41) = 1 - P(Z \leq 2.41)$

De la tabla se extrae que:

$$P(z > 2.41) = 1 - 0.992 = 0.008$$

Por tanto, el 0.8% de las ubicaciones rebasan los 60dB.

## E>30dB:

- ▶ Estandarización:

$$Z = \frac{E - \mu}{\sigma} = \frac{E - 40}{8.3}$$

- ▶ Porcentaje de ubicaciones que superan 30dB:

$$Z = \frac{30 - 40}{8.3} = -1.2$$

Lo que se pide es:

$$P(z > -1.2) = 1 - P(Z \leq -1.2) = P(Z \leq 1.2)$$

De la tabla se extrae que:  $P(z \leq 1.2) = 0.8849$

Por tanto, el 88.49% de las ubicaciones rebasan los 30dB



# Ejemplo (continuación)

---

## Probabilidad $E < (40-35)$

- ▶ Estandarización:

$$Z = \frac{E - \mu}{\sigma} = \frac{5 - 40}{8.3} = -4.22$$

- ▶ Probabilidad de ocurrencia:

$$P(z \leq -4.22) = 1 - P(z \leq 4.22) = 2.6 * 10^{-5}$$

## E rebasado en el 10% de ubicaciones

- ▶  $P(Z > z) = 0.1 = 1 - P(Z \leq z)$

- ▶  $P(Z \leq z) = 1 - 0.1 = 0.9$

- ▶ De la tabla de la distribución normal estandar:  $z = 1.28$

$$Z = \frac{E - \mu}{\sigma} = \frac{E - 40}{8.3} = 1.28$$

$$E = 50.62 \text{ dB}$$

- ▶ Nota: El resto del ejemplo se deja al lector
- 





# Valores típicos de la distribución Gaussiana en redes móviles

---

## ▶ PMR: UIT-R RPN 358

- ▶ Cobertura de estación base grande
- ▶ Bandas:
  - ▶ 150-200Mhz Desv.Est: 8dB
  - ▶ 450 Mhz Desv.Est: 10dB

## ▶ PMT: GSM 03.30

- ▶ Radio de cobertura de celda pequeño
- ▶ Banda:
  - ▶ 900 Mhz Desv.Est: 7dB