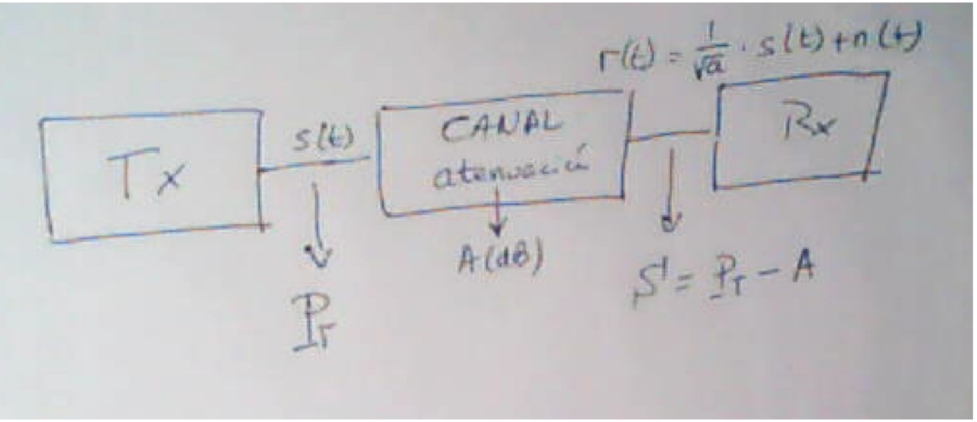
Sesión 4: **Incertidumbre** en los **modelos de atenuación**

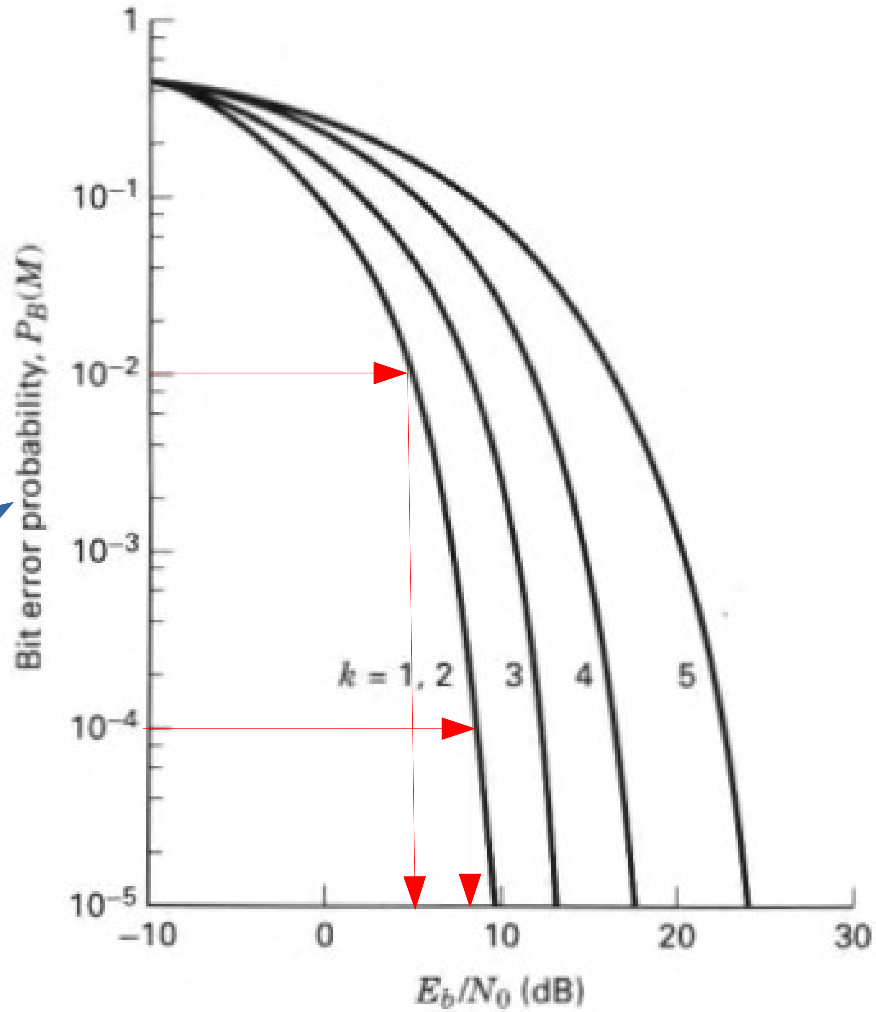


$$A(d,f_c)=\overline{A(d,f_c)}+\varepsilon$$ en dB

1. Impacto en canales gaussianos

$$\Delta\, SNR \sim 3\, dB \Rightarrow 2\ \text{órdenes de magnitud en}\ P_e$$

2. Modelos de atenuación
3. Modelo del error: log-normal
4. Aplicaciones:
   - Margen de enlace
   - Cobertura

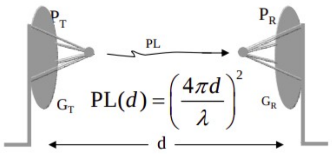


Modelos de atenuación: ejemplos

1)

- Propagación en espacio libre

$$P_R(d)[W] = P_T[W] \times G_T G_R \underbrace{\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2}_{\text{Espacio libre}}$$



- Path Loss

$$PL(d)[dB] = (32.44 + 20\log_{10} d + 20\log_{10} f)$$

f en MHz
d en Km

2)

- Existen modelos que pueden explicar “mejor” que el de “espacio libre” las pérdidas en un trayecto.
  - Ejemplo: Modelo de Okumura-Hata: pérdidas en promedio

$$\boxed{\overline{PL}_{\text{Okumura}}[dB] = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(H_1) + [44.9 - 6.55\log(H_1)]\log(d) - a(H_2)}$$

donde:

f: frecuencia (MHz)

H_1: Altura efectiva de la antena transmisora (m) [30 a 200 m]

H_2: Altura efectiva de la antena receptora (m) [1 a 10 m]

d: distancia (km)

$$a(H_2) = (1.1\log(f) - 0.7)H_2 - (1.56\log(f) - 0.8)$$

3)

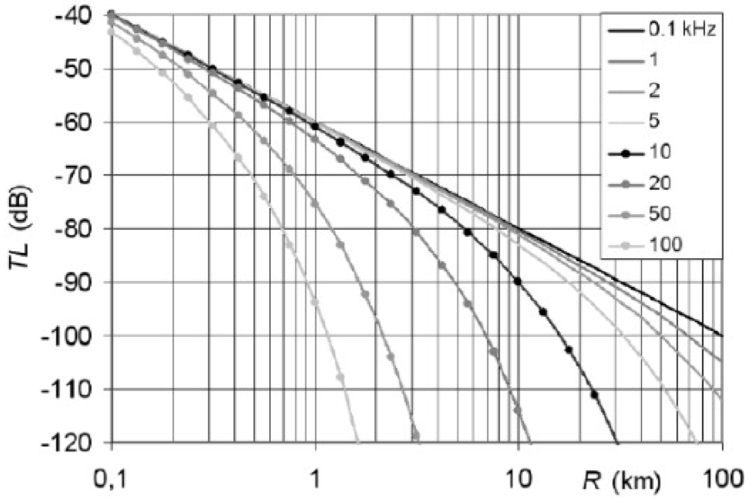
- Pérdidas medias en el trayecto

$$P_R(d)[dBW] = P_R(d_0)[dBW] - 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

$$PL(d)[dB] = PL(d_0)[dB] + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

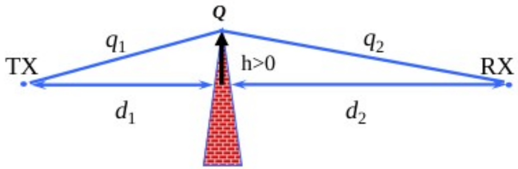
Entorno	Exponente, n
Espacio libre	2
Reflexión especular ideal	4
Entorno urbano	2.7 - 3.5
Entorno urbano (shadowing)	3 - 5
En edificios (visión directa)	1.6 - 1.8
En edificios (camino obstruido)	4 - 6
En industria (camino obstruido)	2 - 3

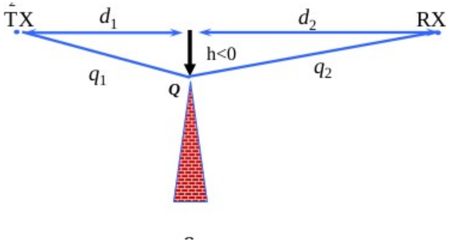
4)



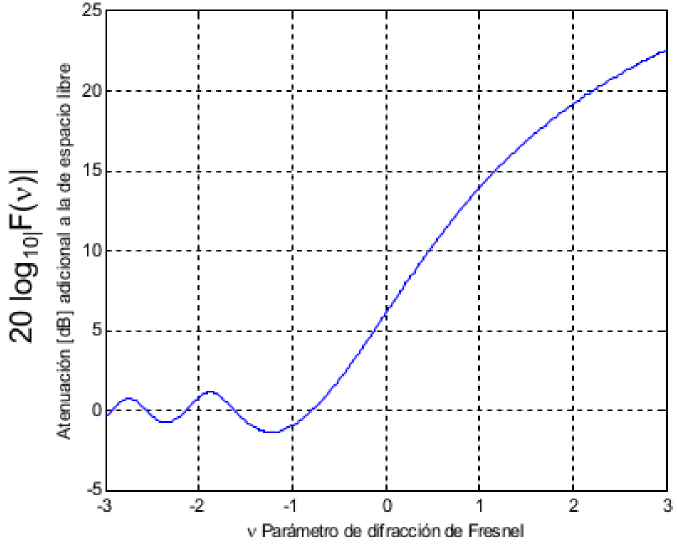
$$\overline{A(d,f_c)} = \overline{A(d,f_c)_{otros\,modelos}} + \overline{Atenuación_{difracción}} + \ldots$$

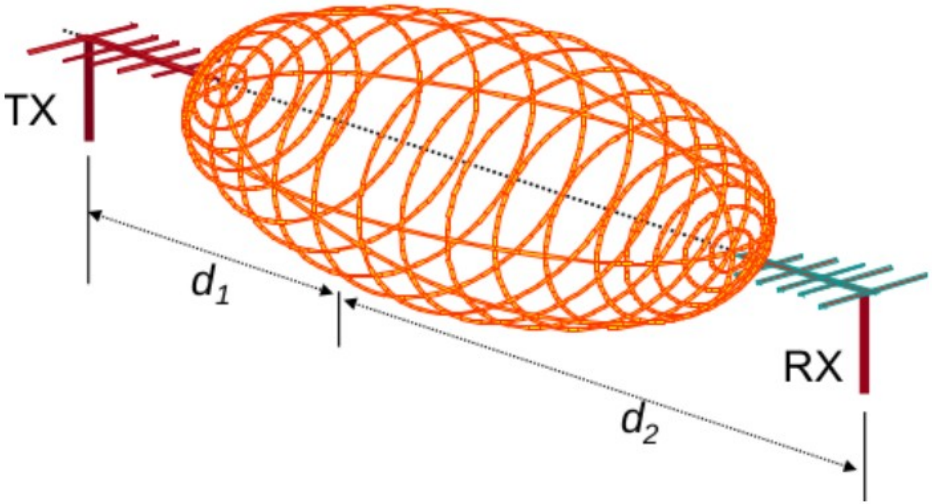
Modelos de atenuación: composición





$$\nu = h\sqrt{\frac{2}{\lambda}\frac{d_1+d_2}{d_1 d_2}}$$





Modelo del error: log-normal (= Normal pero en dB!)

$$A(d,f_c)=\overline{A(d,f_c)}+\varepsilon$$

$$A=N(\bar{A},\sigma^2) \qquad \varepsilon=N(0,\sigma^2)$$

Pregunta típica:

Si X ~ N(μ,σ²), ¿cuál es la probabilidad de que X>z?

Respuesta: $Q\left(\frac{z-\mu}{\sigma^2}\right)$

Valores con el mismo error

$$P_R=\overline{P_R}+\varepsilon$$

$$S=\overline{S}+\varepsilon$$

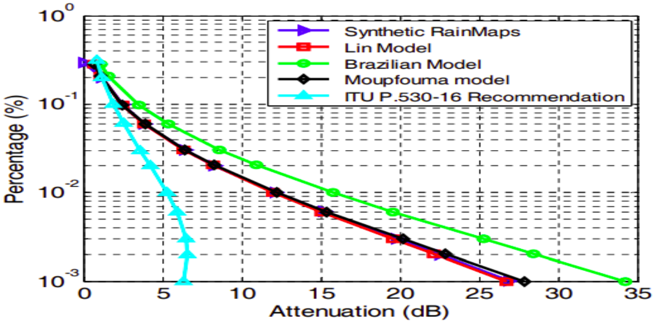
$$SNR=\overline{SNR}+\varepsilon$$

$$\frac{E_b}{N_0}=\overline{\frac{E_b}{N_0}}+\varepsilon$$

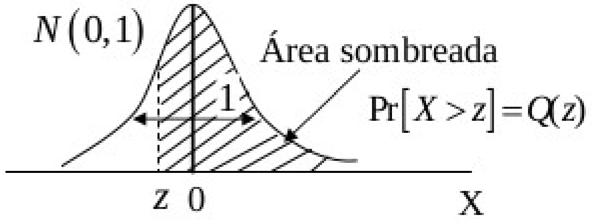
Función de densidad normal

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

Ejemplo lluvia (Korai, 2018)



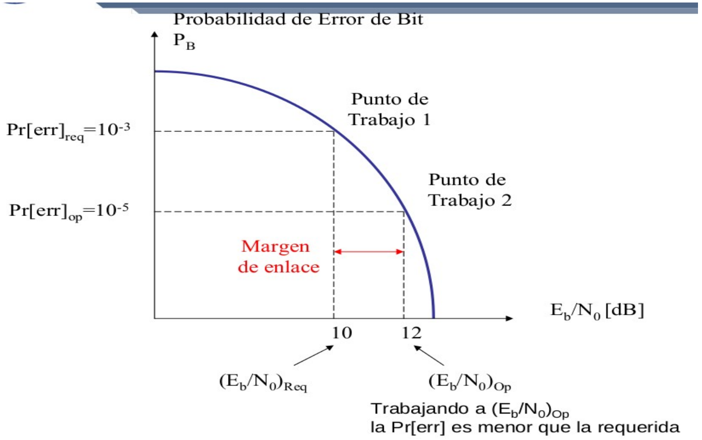
Distribución normalizada

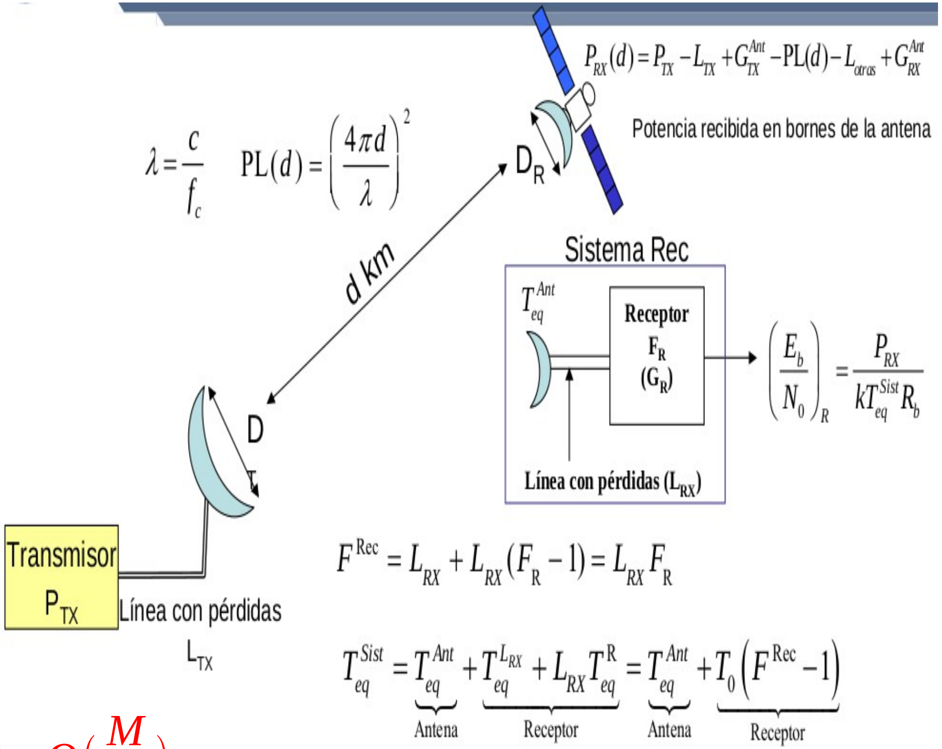


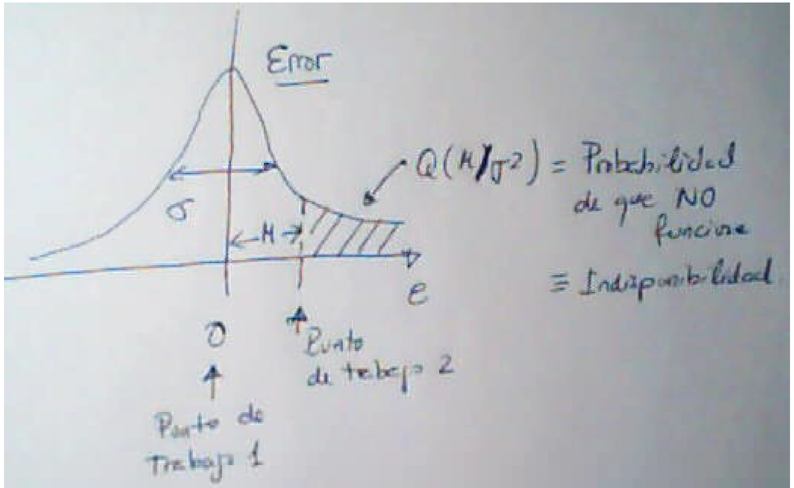
z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)
0.0	0.5	1.0	0.15866	2.0	0.02275	3.0	0.00135
0.1	0.46017	1.1	0.13567	2.1	0.01786	3.1	0.00097
0.2	0.42074	1.2	0.11507	2.2	0.01390	3.2	0.00069
0.3	0.38209	1.3	0.09680	2.3	0.01072	3.3	0.00048
0.4	0.34458	1.4	0.08076	2.4	0.00820	3.4	0.00034
0.5	0.30854	1.5	0.06681	2.5	0.00621	3.5	0.00023
0.6	0.27425	1.6	0.05480	2.6	0.00466	3.6	0.00016
0.7	0.24196	1.7	0.04457	2.7	0.00347	3.7	0.00011
0.8	0.21118	1.8	0.03593	2.8	0.00256	3.8	0.00007
0.9	0.18406	1.9	0.02872	2.9	0.00187	3.9	0.00005

Aplicación 1: **Margen de enlace**

$$L_{otros}(d, f_c) = \overline{L_{otros}(d, f_c)} + \varepsilon \qquad \varepsilon = N(0, \sigma^2)\, dB$$







$$Disponibilidad = 1 - Q\left(\frac{M}{\sigma^2}\right)$$

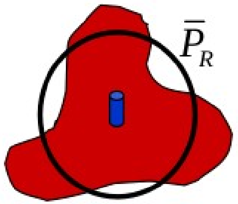
Formas de conseguir margen:

- Incrementando Pt
- Disminuyendo N
- Disminuyendo d
- etc...

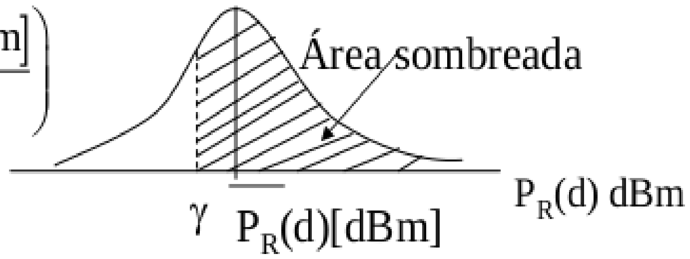
Aplicación 2: **Cobertura**

- El Modelo Log-normal (shadowing) nos permite definir probabilidades de coberturas.
  - La probabilidad de que $P_R(d)$ [dBm] supere γ [dBm]:

- Celdas en forma de ameba

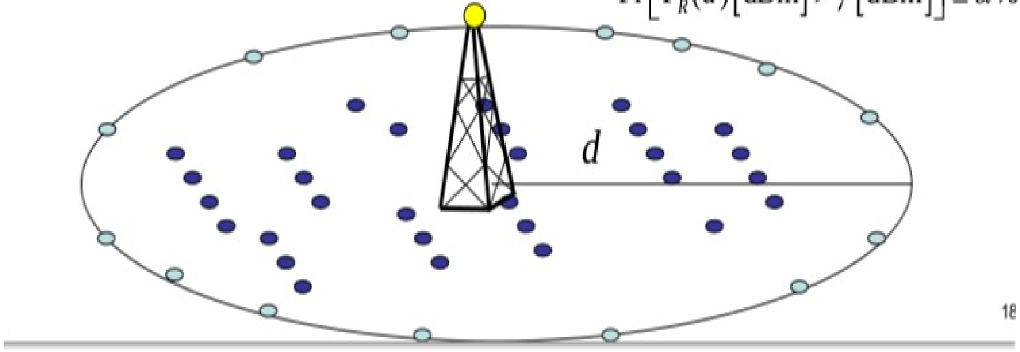


$$\Pr\left[P_R(d)[\text{dBm}] > \gamma[\text{dBm}]\right] = Q\left(\frac{\gamma[\text{dBm}] - \overline{P}_R(d)[\text{dBm}]}{\sigma[\text{dB}]}\right)$$



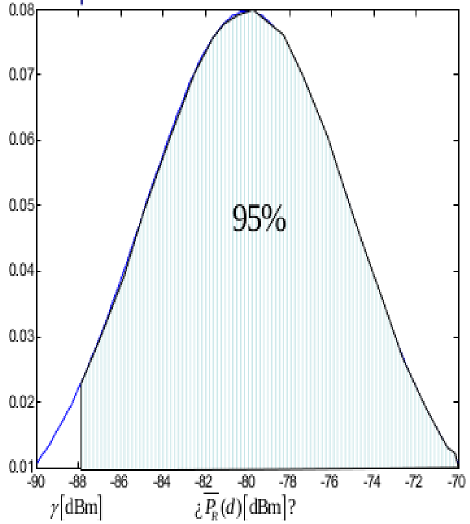
- Planificación de red:
  - Encontrar el valor de "d" para el que la potencia recibida media supere el umbral γ [dBm] con una probabilidad α %.

$$\Pr\left[P_R(d)[\text{dBm}] > \gamma[\text{dBm}]\right] \geq \alpha\%$$



- Ejemplo: γ = -88 [dBm]; σ= 5 dB; ¿cuánto tiene que valer $P_R(d)$ para que

$$\Pr\left[P_R(d)[\text{dBm}] > -88[\text{dBm}]\right] \geq 95\%\,?$$



z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)	z	Q(z)
0.0	0.5	1.0	0.15866	2.0	0.02275	3.0	0.00135
0.1	0.46017	1.1	0.13567	2.1	0.01786	3.1	0.00097
0.2	0.42074	1.2	0.11507	2.2	0.01390	3.2	0.00069
0.3	0.38209	1.3	0.09680	2.3	0.01072	3.3	0.00048
0.4	0.34458	1.4	0.08076	2.4	0.00820	3.4	0.00034
0.5	0.30854	1.5	0.06681	2.5	0.00621	3.5	0.00023
0.6	0.27425	1.6	0.05480	2.6	0.00466	3.6	0.00016
0.7	0.24196	1.7	0.04457	2.7	0.00347	3.7	0.00011
0.8	0.21118	1.8	0.03593	2.8	0.00256	3.8	0.00007
0.9	0.18406	1.9	0.02872	2.9	0.00187	3.9	0.00005