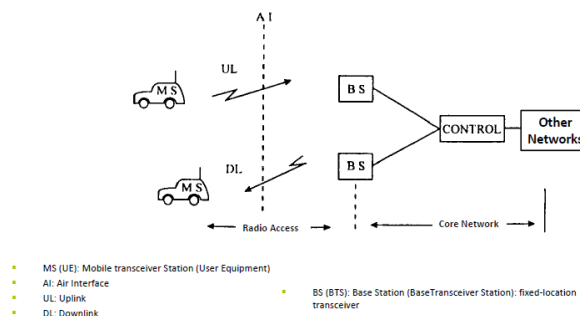


Capítulo 7: Comunicaciones Móviles

Introducción:

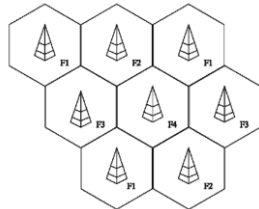
- **Definición:**
 - Según la ITU-R:
 - Servicio Móvil: servicio de radiocomunicación entre una estación móvil y una terrena o entre estaciones móviles, una de ellas, al menos, ha de ser móvil.
 - Servicio satélite-móvil: servicio de radiocomunicación:
 - Entre estaciones móviles terrestres y una o más espaciales o entre estaciones espaciales usando este servicio.
 - Entre estaciones móviles terrestres por medio de una o más estaciones espaciales. Este servicio también puede incluir enlaces de alimentación necesarios para su operación.
 - Servicio móvil terrestre: servicio móvil entre estaciones base y estaciones móviles terrestres, o entre estaciones móviles terrestres.
 - Servicio móvil marítimo: servicio móvil entre estaciones costeras y estaciones de a bordo, o entre estaciones de a bordo (barcos).
 - Servicio móvil aeronáutico: servicio móvil entre estaciones aeronáuticas o entre estaciones de aeroplanos.
- **Componentes básicos:**



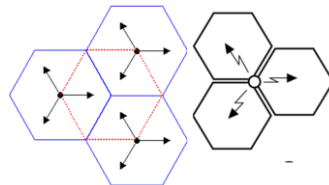
- **Cobertura: concepto:**
 - Una estación base provee cobertura a los usuarios móviles.
 - Área de cobertura de una estación base: área geográfica alrededor de la EB donde la fuerza de la señal tiene un valor excediendo cierto umbral de operación.
 - Los usuarios fuera de esa área reciben señales muy bajas por debajo de ese umbral.
 - Topología desde la EB los usuarios móviles: punto-a-área. El tamaño del área varía según las diferentes aplicaciones.
 - Tipos:
 - *Simple*: un único transmisor sin reutilización de frecuencias: una única EB proporciona cobertura de radio a los usuarios móviles.
 - *Red Celular*: red inalámbrica distribuida a través de áreas terrestres denominadas células, cada una proporcionando cobertura a una

pequeña porción del área de servicio por un transceptor de ubicación fija, conocido como Estación Base. La red celular reutiliza las frecuencias en células separadas por otra más para evitar interferencias.

- Las células excitadas en el centro con antenas omnidireccionales.

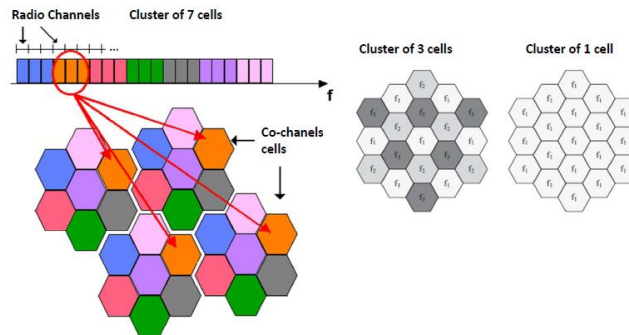


- Células excitadas por una antena córner o sectorizadas: se usan antenas directivas en la Estación Base. Es común usar 3 sectores por estación base: Trisectorización.



- Macro células: proporcionan cobertura de radio servida por una Estación Base de alta potencia (torre). Las antenas de las macro células son montadas sobre mástiles (cuya base es la propia tierra), azoteas, tejados... a una altura que permita una visión clara sobre las construcciones y el terreno. Las Estaciones Base de las Macro células tienen potencias de salida típicas de unas decenas de vatios (W).
- “Small-cells”: nodos de acceso a radio de baja potencia que tienen un bajo rango en comparación con las macro células móviles. Células “small”, femto células, pico células y micro células. Pueden usarse para proporcionar servicio inalámbrico en interiores y exteriores próximos de edificios. Los operadores móviles usan “small-cells” para extender su cobertura de servicio y/o incrementar la capacidad de la red.
- *Traspaso (Handover)*:
 - ❖ Proceso de transferencia de una llamada o transferencia de datos en curso desde un canal conectado a una Estación Base a otro conectado a otra EB.
 - ✓ Duro (Hard): termina comunicación con una EB antes de establecer con otra:
 - ✓ Soft (Suave, con continuidad): 2 o más EB transmiten la misma señal con códigos distintos. El receptor decodifica cada camino y los suma (RAKE), finalmente se selecciona la EB de la que recibir el servicio.

- Itinerancia (Roaming): capacidad de un usuario o cliente celular de recibir llamadas de voz, enviar o recibir datos u otros servicios de acceso, cuando se encuentra viajando o fuera de un área geográfica de cobertura lejos de la red doméstica, por medio del uso de una red visitante.
- Reutilización de frecuencias: ejemplos:



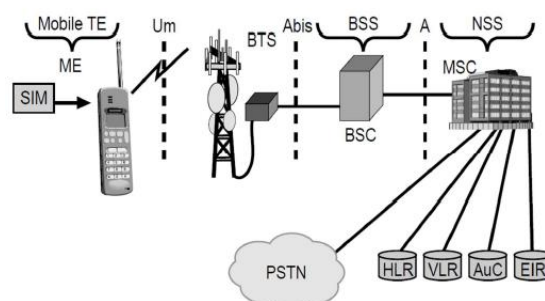
Aplicaciones:

- **WPAN, Wireless Personal Area Networks:**
 - Incluyen redes que logran distancias de subida de unos 10 m, cubriendo el espacio personal de un usuario.
 - Ejemplos son las redes que enlazan los componentes de los ordenadores y los sistemas de entretenimiento. Debido al pequeño rango, el número de dispositivos dentro de una PAN es reducido. Esto hace que la planificación celular y el Acceso Múltiple sean mucho más simples.
 - Body Area Networks, BAN, están a menudo incluidos dentro de las PANs. BANs cubren la comunicación entre diferentes dispositivos incluidos en un cuerpo. Por ejemplo, desde un célula telefónica en una funda de pistola en la cadera hasta los auriculares en la oreja, rango de 1 m.
- **WLAN, Wireless Local Area Network:**
 - LA funcionalidad de las WLANs es similar a los teléfonos inalámbricos- conectando un único dispositivo de usuario móvil a un sistema de telefonía fija público, permitiéndole movilidad. El dispositivo de usuario móvil es normalmente un ordenador portátil y el sistema de telefonía fija, Internet.
 - WLANs pueden ser útiles para conectar ordenadores de ubicación fija (ordenadores de mesa) a Internet, ya que salvan los costes del cableado tirado para conectar la ubicación deseada al ordenador.
 - WLANs cubren rangos algo más grandes, de unas centenas de metros.
- **WMAN, Wireless Metropolitan Area Networks:**
 - La WMAN representa la evolución de las WLAN para ampliar el rango, cubriendo áreas más grandes similares a una cobertura regional.
- **WWAN, Wireless Wide Area Networks:**
 - Cobertura Global: país, continente, Tierra.
 - Redes Celulares.
 - Pueden clasificarse en redes públicas o privadas.

- Estándares referenciados: 3GPP: 2G (GSM), 2,5 G (EDGE , GPRS), 3G (CDMA2000, UMTS), 4G (LTE, LTE-A)...
- Podrían incluirse también los estándares de IEEE: WiMAX y Wi-Fi y tecnología LMDS promovida por la ETSI.

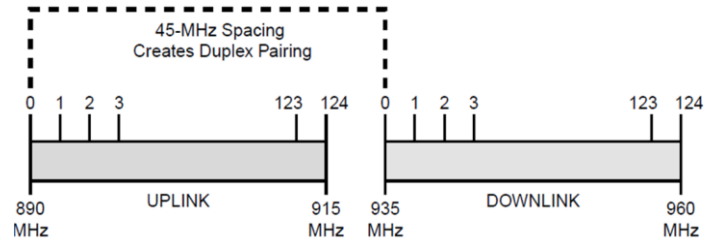
Evolución Tecnológica:

- **2G:**
 - Los sistemas digitales 2G fueron armonizados y tuvieron tecnología digital, encabezando una mejor calidad de voz y utilización del espectro.
 - Algunas variantes de los sistemas 2G llegaron al mercado incluyendo GSM (Global Systems for Mobile Communications), TDMA IS-136, CDMA IS-95, PDC (Personal Digital Cellular) y PHS (Personal Handy Phone System).
 - El sistema GSM es el más popular de la tecnología 2G. Las primeras redes GSM salieron al mercado a mediados de los 90'.
 - Arquitectura GSM:
 - Interfaz Um, entre la BTS y la ME. La estación móvil, MS, consiste de un equipamiento físico, tanto como un transceptor de radio, un monitor y procesador de señales digital, como de una pequeña tarjeta denominada SIM (Subscriber Identity Module).
 - Subsistema de Estación Base (BSS) controla el radioenlace con la MS:
 - BTS (Base Transceiver Station) alberga los radio-transceptores.
 - BSC (Base Station Controller) controla los recursos de radio para una o más BTSs.
 - Subsistema de Red (NSS), la parte principal de ésta es la MSC (mobile services Switching Centre), controlando la conmutación de llamadas entre un usuario móvil y otro/s usuario/s de la red fija o móvil, así como el mantenimiento de los servicios móviles o:
 - HLR (Home Location Register).
 - VLR (Visitor Location Register).
 - EIR (Equipment Identity Register).
 - AuC (Authentication Center).



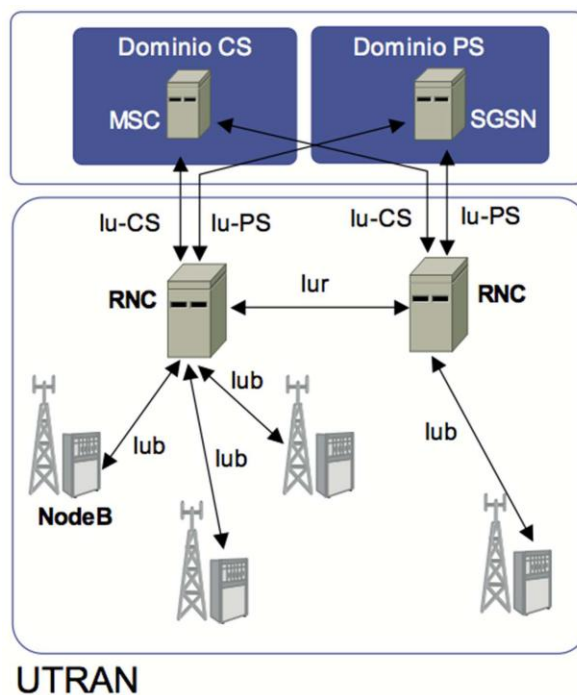
- Frecuencias de Radio GSM:
 - Banda Primaria:
$$F_l(n) = 890 + 0,2 * n; F_u(n) = F_l(n) + 45; 1 < n < 124$$

- Banda Extendida:
 $F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot (n - 1024)$; $F_u(n) = F_l(n) + 45$; $975 < n < 1023$
- GSM 1800:
 $F_l(n) = 1712 + 0,2 \cdot (n - 512)$; $F_u(n) = F_l(n) + 95$;

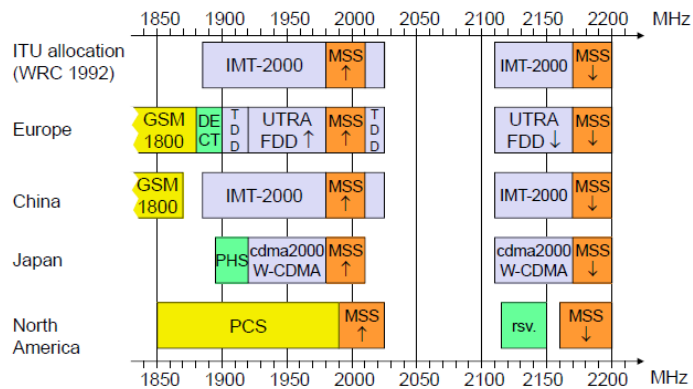


- **3G:**

- En la IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) surgió el siguiente término: un estándar global para los sistemas 3G, definido por la ITU. 3GPP, Third Generation Partnership Project), responsable de la tecnología de Acceso a Radio UMTS (UTRAN). Las primeras redes 3G salieron al mercado a mediados de la década de los 2000'.
- Arquitectura UMTS:
 - CS: Conmutación de Circuitos.
 - MSC: Mobile Switching Centre.
 - PS: Conmutación de Paquetes.
 - SGSN: Serving GPRS Support Node.
 - UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network.
 - RNC: Radio Network Controller.
 - Node B: Base Station UMTS.
 - Uu: Air Interface.



▪ Radio-Frecuencias UMTS:



UMTS-FDD

- Enlace ascendente: 1920-1980 Mhz
- Enlace descendente: 2110-2170 Mhz

UMTS-TDD

- 1900-1920 Mhz
- 2010-2025 Mhz

Donde, en FDD son bandas pareadas y en TDD, no. Es decir, en UMTS-FDD, el total de bandas se divide entre 2: $120/2$, 60 para cada enlace. Pero, para TDD, son sumadas las del ascendente (20) más las del descendente (15), para dar un total de 35. Además, el ancho de banda de portadora es de 5 MHz, por lo que el máximo para FDD es de 12 ($60/5$) y en TDD, 7 ($35/5$).

▪ Refarming UMTS900:

UMTS900

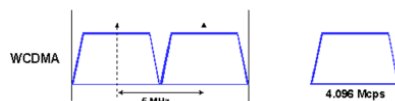
DESIGNATED SPECTRUM	3GPP BAND CLASS	800	900	1000
UMTS850	BC5	824-849	869-894	
UMTS800	BC6	830-840	875-885	
UMTS900	BC8	880-915	925-960	

— Uplink
— Downlink

- El Refarming del espectro se trata de la reutilización de las frecuencias de las inicialmente dadas con otras tecnologías diferentes.
- Aquí se encuentra el refarming del espectro de GSM900 al UMTS: transformación de los títulos habilitantes de telefonía móvil GSM en la banda de 900 MHz para su uso en la prestación de servicios 3G (UMTS).

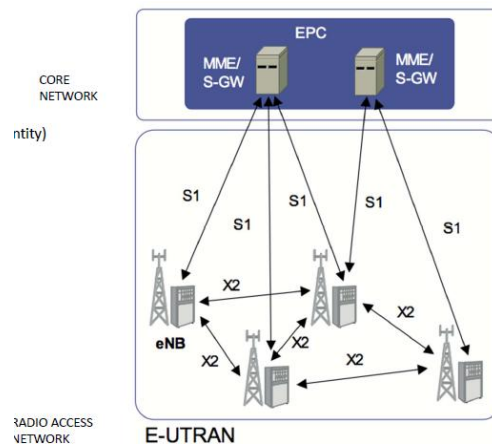
▪ Características UMTS Uu:

- Método de Acceso: UMTS usa la tecnología de acceso radio W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access).
- W-CDMA (UTRA-FDD) emplea el método de acceso al canal DS-SS-SSA con una par de anchos de banda de canal de 5 MHz.



- **4G:**

- En la IMT-A (International Mobile Telecommunications Advanced): se fijaron una serie de requisitos para los estándares 4G, definidos por la ITU.
- 2 tecnologías cumplían con estos requisitos:
 - LTE-A (Long Term Evolution Advanced) estandarizada por 3GPP (Rel12, 2010), basado en LTE (Rel10, 2008).
 - 802.16 m estandarizado por IEEE, 2011 (por ejemplo WiMAX Móvil), basado en 802.16e, 2005.
- Arquitectura LTE:
 - EPC: Evolved Packet Core.
 - MME (Mobility Management Entity).
 - PD: Conmutación de paquetes.
 - S-GW: Serving Gateway.
 - E-UTRAN: Evolved UTRAN.
 - eNB: Evolved Node B.



- **Frecuencias LTE en España:**

Frequency (MHz)	Band class LTE	Uplink Frequency (MHz)	Downlink Frequency (MHz)	Current use
2600	7	2500-2570	2620-2690	4G/LTE.
1800	3	1710-1785	1805-1880	2G/GSM and 4G/LTE.
800	20	832-862	791-821	Digital Dividend: will be used from 2014/2015 to LTE. Currently testing in Zamora.

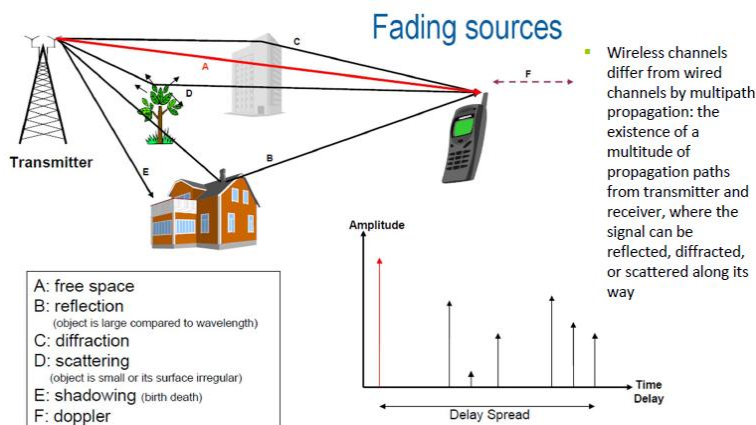
- **Características LTE:**

- Esquemas de Modulación:
 - Enlace ascendente: QPSK, 16QAM, 64QAM (opcional).
 - Enlace descendente: QPSK, 16QAM, 64QAM.
- Esquemas de Acceso Múltiple:

- Enlace ascendente: SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) soporta 50 Mbps + (en los 20 MHz del espectro).
 - Enlace Descendente: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) soporta 100 Mbps+ (en los 20 MHz del espectro).
 - Tecnología Multi-Antena:
 - Enlace Ascendente: MIMO colaborativo multiusuario.
 - Enlace Descendente: TxAA, multiplexación espacial, CDD, máximo array 4x4.
 - Esquemas Dúplex: FDD y TDD.
 - LTE opera en varios tamaño de radio-canal , desde 1,4 hasta 20 MHz (opcionalmente 40 MHz).
- **5G:**
 - IMT-2020 (International Mobile Telecommunications 2020): una serie de requisitos para los estándares 5G, ahora mismo progresando en la ITU: siguiente generación de redes y servicios de comunicación, por encima de 4G, logrando conectividades super rápidas ubicuas.

Cálculos de Cobertura Móvil:

- **Fenómeno relevante de propagación para el diseño del sistema:**
 - Normalmente los sistemas móviles:
 - Tienen antenas pequeñas en uno de sus terminales receptores (equipamiento de usuario).
 - Tienen antenas de un tamaño moderado en el otro lado, no siempre más altas que el follaje envolvente (vegetación, edificios...).
 - Las frecuencias van en el rango desde docenas de MHz a algunos GHz.
 - Otros sistemas móviles o portátiles, en la banda de 5 GHz (WLAN).
 - En muchos casos en un entorno exterior, las señales electromagnéticas pueden viajar desde el transmisor al receptor móvil a través de varios caminos.



- **Descripción estadística del canal inalámbrico:**
 - En un sistema móvil la señal recibida se divide normalmente en 3 componentes: Pérdidas del Trayecto (l), sombras (desvanecimiento suave) (g) y

$$l_b(d) = l(d) \cdot g(x, y) \cdot r(t, f) \Rightarrow L_b(d) = L(d) + G(x, y) + R(t, f)$$

- Path Loss: Pérdidas del Trayecto:
 - Depende de la distancia Tx-Rx (cuanta mayor distancia, más pérdidas), y otros factores, por ejemplo, la frecuencia.
 - Depende del perfil Tx-Rx.
 - Relevante en la planificación de la Red.
 - Normalmente valores empíricos y determinísticos.
- Sombras:
 - Depende de las características del área del servicio.
 - Depende de la localización específica donde se ubica el móvil (sombras de árboles, edificios...).
 - Independiente de la distancia Tx-Rx.
 - Estadístico (variación lenta). Responde a variaciones a lo largo de distancias mayores de 40λ .
 - Relevante para el diseño del equipamiento y la planificación de la red.
- Desvanecimiento Rápido:
 - Depende del multitrayecto en elementos cercanos.
 - Dependiente del tiempo y la frecuencia.
 - Estadístico (desvanecimiento rápido), cambios en una distancia de unas cuantas longitudes de onda.
 - Independiente de la distancia TX-Rx y su posición específica.
 - Relevante para el diseño del equipamiento.
- **Modelos de Propagación para los Propósitos de Planificación de Red:**
 - Objetivo: calcular las pérdidas del trayecto móvil teniendo en cuenta el fenómeno de propagación. Se calculan el promedio de pérdidas del trayecto, así como la potencia media recibida.
 - El escenario de cobertura es relevante para una adecuada selección del modelo de cálculo de pérdidas del trayecto.
 - Modelo simplificado: La Ley de Potencia d^{-n} o modelo de Punto de Ruptura:
 - La potencia de la señal recibida (potencia media) se asume que decae como d^{-2} (Ley de Friis aproximadamente válida) hasta el punto de ruptura, d_{break} , y desde entonces d^{-n} .

$$P_{RX}(d) = eirp \cdot g_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{for } d \leq d_{break}$$

$$P_{RX}(d) = P_{RX}(d_{break}) \left(\frac{d}{d_{break}} \right)^{-n} = eirp \cdot g_{RX} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_{break}} \right)^2 \left(\frac{d}{d_{break}} \right)^{-n} \quad \text{for } d > d_{break}$$

$$d_{break} = \frac{4h_{TX}h_{RX}}{\lambda} \quad h_{TX}, h_{RX}: \text{antennas heights}$$

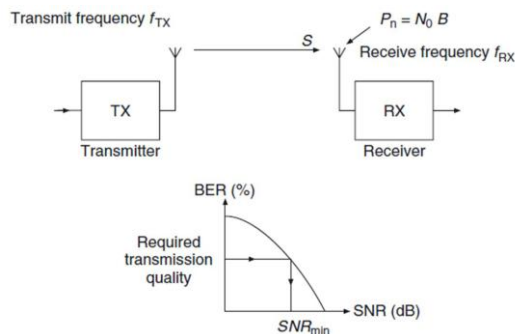
- $1.5 < n < 5.5$, y el actual valor depende fuertemente del follaje y elementos del entorno. Puede obtenerse por técnicas de regresión.
- El valor para $n=4$ es, en el mejor de los casos, un valor medio de varios entornos. Este d^{-4} se justifica por computar la potencia recibida para el caso en el que únicamente existe una onda directa más la onda de tierra reflejada (LOS).

- Pérdida por Trayecto (inverso de la Ganancia del Trayecto) se calculan entonces:

$$l_{PATH}(d) = \frac{e^{-\alpha d} \cdot G_{RX}}{P_{RX}(d)} = \left(\frac{4\pi d_{break}}{\lambda} \right)^2 \left(\frac{d}{d_{break}} \right)^n$$

- **Balance del enlace de los sistemas inalámbricos de ruido-limitado:**

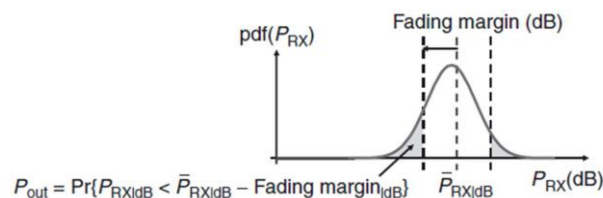
- Se montan balances del enlace para sistemas de ruido-limitado:
 - Cuando el espectro es regulado y el operador de red puede controlar la interferencia.
 - En ausencia de interferencia (WLANs o cualquier red celular si la densidad de usuarios es baja)-> P depende del VER y de la C/(N,I), como no hay I, C/N.
- La calidad de Transmisión se describe a menudo en términos de probabilidad BER (Bit Error Rate).
- Depende del esquema de modulación, codificación y un rango de otros factores, donde hay una relación entre el VER y la S/N para cada sistema de comunicaciones digital. La calidad de Transmisión requerida, requiere un mínimo de S/N en el receptor. Donde la señal será la de Radio-Frecuencia (RF), para referirnos a la potencia media RF, o BF tras demodular.
- Asimismo, cabe destacar que, en caso de tener en cuenta la Interferencia, C/I < Rx'p, Relación de Protección de Interferencias de células cocanal que ha de ser menor que 12 dB.



- El ruido que distorsiona la señal puede consistir en varias componentes: Ruido térmico, ruido provocado por la mano del hombre y ruido en el receptor. Se define por la potencia de ruido P_n :
 $P_n = 10 \log(kTB_N)$, donde P_n es N , la potencia del ruido, T es la temperatura de la antena y del Receptor y B_N es el ancho de banda de ruido = BW del sistema.
- Calcularemos la el mínimo de potencia transmitida (o rango máximo) correspondiente a la potencia recibida para proporcionar una cierta calidad de transmisión (mínimo S/N).
- Una calidad mínima de transmisión puede ser, de este modo, enlazada al mínimo de S/N, por el esquema. Por consiguiente, el objetivo de los métodos de planificación es determinar la potencia mínima de la señal en dB, P_S :
 $P_S = S/N + P_n$, donde S_{\min} será el objetivo, teniendo en cuenta el BER.
- Calculamos los balances del enlace de los enlaces ascendentes y descendentes (son diferentes):
 $P_S = PIRE - L_{PATH}(d) - MARGIN + G_{RX}$; donde d , es la distancia máxima de cobertura.

$PIRE = P_{TX} - L_{TT} + G_{TX}(\Theta, \eta)$, donde L_{TT} , son las pérdidas de los circuitos de acoplo y G_{TX} se trata de la ganancia en función de la orientación del trayecto de radiación respecto del máximo del diagrama.

- P_S : Potencia mínima de la señal, potencia umbral (sensibilidad del receptor).
- $L_{PATH}(d)$ se obtiene desde cualquier modelo de propagación como función de la distancia de cobertura, d . Asumimos el Modelo Simplificado de Ley de Potencia d^{-n} o modelo de Punto de Ruptura.
- G_{RX} : ganancia de la antena receptora.
- MARGIN: a tener en cuenta algunas interacciones entre diferentes efectos, además de las pérdidas del trayecto promediadas.
- MARGIN= Margen de Desvanecimiento + Margen de Degradación por Interferencias + Otros Márgenes del Sistema.
- Problema Directo: calcular la distancia de cobertura a partir de una PIRE dada para un mínimo de S/N.
- Problema inverso: Calcular la PIRE para una distancia de cobertura dada para un mínimo de S/N.
- Margen por Desvanecimiento para garantizar cierta probabilidad de corte:
 - Los sistemas móviles sufren variaciones temporales y espaciales del canal de transmisión (desvanecimiento).
 - Aunque la distancia es aproximadamente constante, la potencia recibida puede cambiar significativamente con movimientos pequeños del Tx y/o el Rx.
 - Si la potencia media recibida se usa como base para el balance energético del enlace, entonces la calidad de Transmisión superará el umbral únicamente en aproximadamente el 50 % de las veces y localizaciones. Esto es completamente inaceptable como QoS. Ante esto, nosotros añadimos un margen por desvanecimiento, que asegura que el mínimo de potencia recibida excede, al menos, en un 90 % de los casos.
 - El valor del Margen d Desvanecimiento depende de la amplitud de las estadísticas de desvanecimiento.



- Degradación del Margen de Interferencia: se incluye para tener en cuenta el efecto de la interferencia desde el valor medio de la C/I calculada.
- Caso en el que la interferencia es tan fuerte que domina completamente el comportamiento, así que el ruido puede descuidarse.
- Las complejas computaciones siguen las computaciones del balance energético del enlace de la sección previa.
- Una diferencia entre la interferencia y el ruido yace en el hecho de que la interferencia sufre desde el desvanecimiento, mientras que la potencia de ruido

se mantiene constante típicamente (promediada sobre un corto intervalo de tiempo).

Ejemplo:

- **Balance energético de sistemas de ruido-limitado:**
 Considerar un sistema de radiocomunicación móvil a 900 MHz de frecuencia de portadora, y con 25 kHz de BW, que es afectado únicamente por ruido térmico (temperatura ambiente de 300° K, T_0).
 - La ganancia de las Antenas del Tx y Rx son 8 dB y -2 dB, respectivamente.
 - Pérdidas en los cables... en el Tx son 2 dB.
 - Figura de ruido en el Rx, 7 dB.
 - El BW a 3 dB de la señal es 25 kHz.
 - LA S/N requerida es de 18 dB y el rango de cobertura deseado 2 km.
 - El punto de ruptura es a una distancia de 10 m; a partir de este punto, el exponente para las pérdidas del trayecto es 3.8.
 - El margen por desvanecimiento es 10 dB. La Degradación del Margen por Interferencia y el Margen de Otro Sistema son cero.

¿Cuál es la potencia mínima de Tx?

Noise spectral density	$k_B T_c$	-174 dBm/Hz
Bandwidth		44 dBHz
:		
:		
Thermal noise power at the RX		-130 dBm
RX excess noise		7 dB
Required SNR		18 dB
:		
:		
Required RX power		-105 dBm
Path loss from 10 m to 2-km distance	$(200^{3.8})$	87 dB
Path loss from TX to breakpoint at 10 m	$[\lambda / (4\pi d)]^2$	52 dB
Antenna gain at the MS G_{RX}	(2-dB loss)	-(-2) dB
Fading margin		10 dB
Required EIRP		46 dBm
TX antenna gain G_{TX}	(8-dB gain)	-8 dB
Losses in cables, combiners, etc. at TX	L_f	2 dB
Required TX power (amplifier output)		40 dBm

Solución:

La potencia de Tx requerida es, por consiguiente, 40 dBm, o 10 W. El balance energético del enlace se muestra en la siguiente figura (Hipsograma):

