

Capítulo 9: Sistema UMTS

Sistema UMTS

1. Origen del UMTS. Características de la Tercera Generación.
2. Arquitectura de la red UMTS.
3. Interfaz radio: características generales. Ensanchamiento espectral. Canales físicos, lógicos y de transporte. Estructura de tramas.
4. Adaptación de tasa, modulación, codificación, entrelazado.
5. Procesos asociados a la transmisión: control de potencia, traspaso con continuidad, uso de PCH y PICH, uso de PRACH y AICH, modo comprimido, diversidad de transmisión.
6. Protocolos. Estados de conexión. Gestión de movilidad. Servicios.
7. Capacidad en UMTS.
8. Planificación. Caracterización del enlace radio. Balances de enlace.

1. Origen del UMTS. Características de la Tercera Generación

Características de la Tercera Generación

“IMT-2000” (UIT)

- Gran capacidad
- Variedad de servicios:
 - Velocidad binaria elevada: hasta
 - 144 kb/s en entornos rurales
 - 384 kb/s en entornos suburbanos
 - 2 Mb/s en entornos urbanos
 - Velocidad binaria variable dinámicamente
 - Conmutación de circuitos y de paquetes
- Estructura modular y arquitectura abierta para la introducción de nuevas aplicaciones.

Origen de UMTS

“Universal Mobile Telecommunication System”

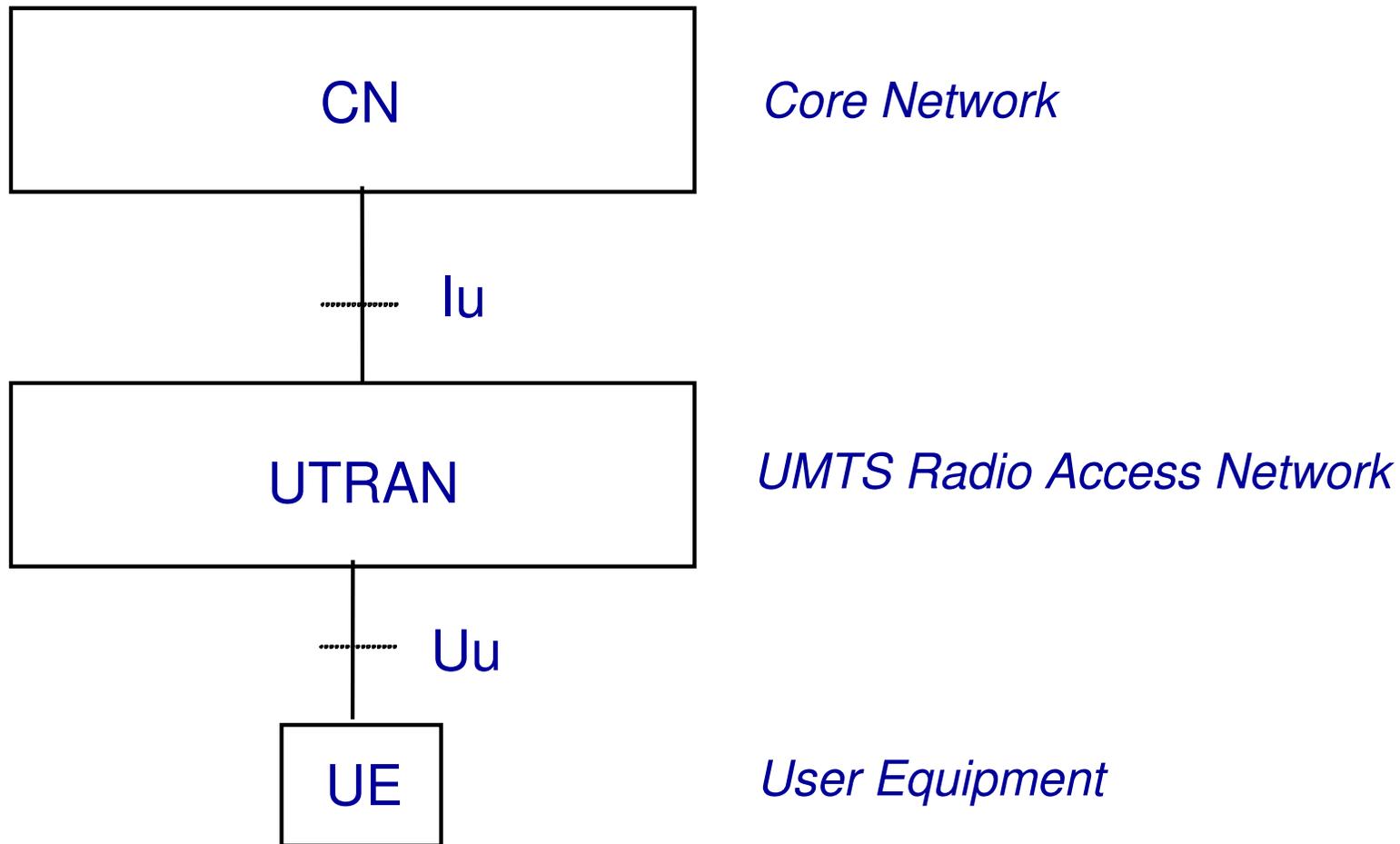
- 1995 Proyecto europeo FRAMES para selección de método de acceso múltiple: propuesta con dos modos TDMA y CDMA.
- 1997 Proceso de selección de tecnologías para UMTS por parte de ETSI: propuesta con cinco categorías.
- 1998 Selección de dos tecnologías por parte de ETSI: WCDMA (FDD) y TD-CDMA (TDD).
- 1999 Creación de 3GPP y 3GPP2. Armonización de propuestas para IMT-2000.
- 2000 Definición de IMT-2000: cinco modos (posteriormente seis)
- 2001 Pruebas no comerciales de UMTS.
- 2003 Primeros terminales UMTS/GSM. Explotación comercial.
- 2006 Comienzo de explotación comercial de HSDPA.
- 2007 Comienzo de explotación comercial de HSUPA.
- 2009 Comienzo del despliegue comercial de HSDPA+.

Fases de especificación

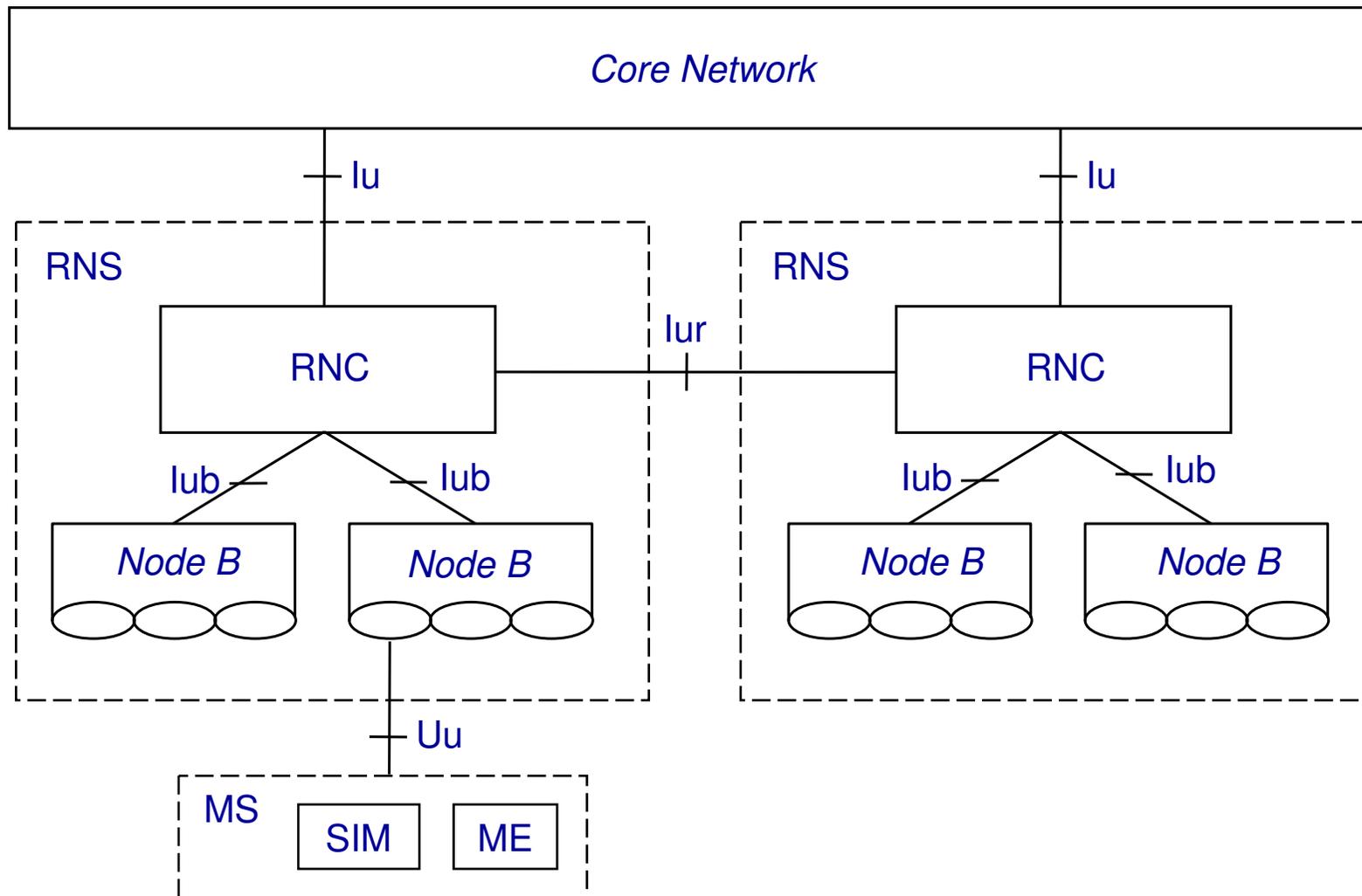
Release 99	Especificación básica.
Release 4	Mejoras en Release 99.
Release 5	HSDPA. Otras mejoras.
Release 6	HSUPA. Mejoras en HSDPA.
Release 7	Evolución de HSPA (HSPA+)
Release 8	LTE
Release 9	Estudio inicial para <i>LTE-Advanced</i> . Otras mejoras
Release 10	<i>LTE-Advanced</i>

2. Arquitectura de la red UMTS

Arquitectura general de UMTS



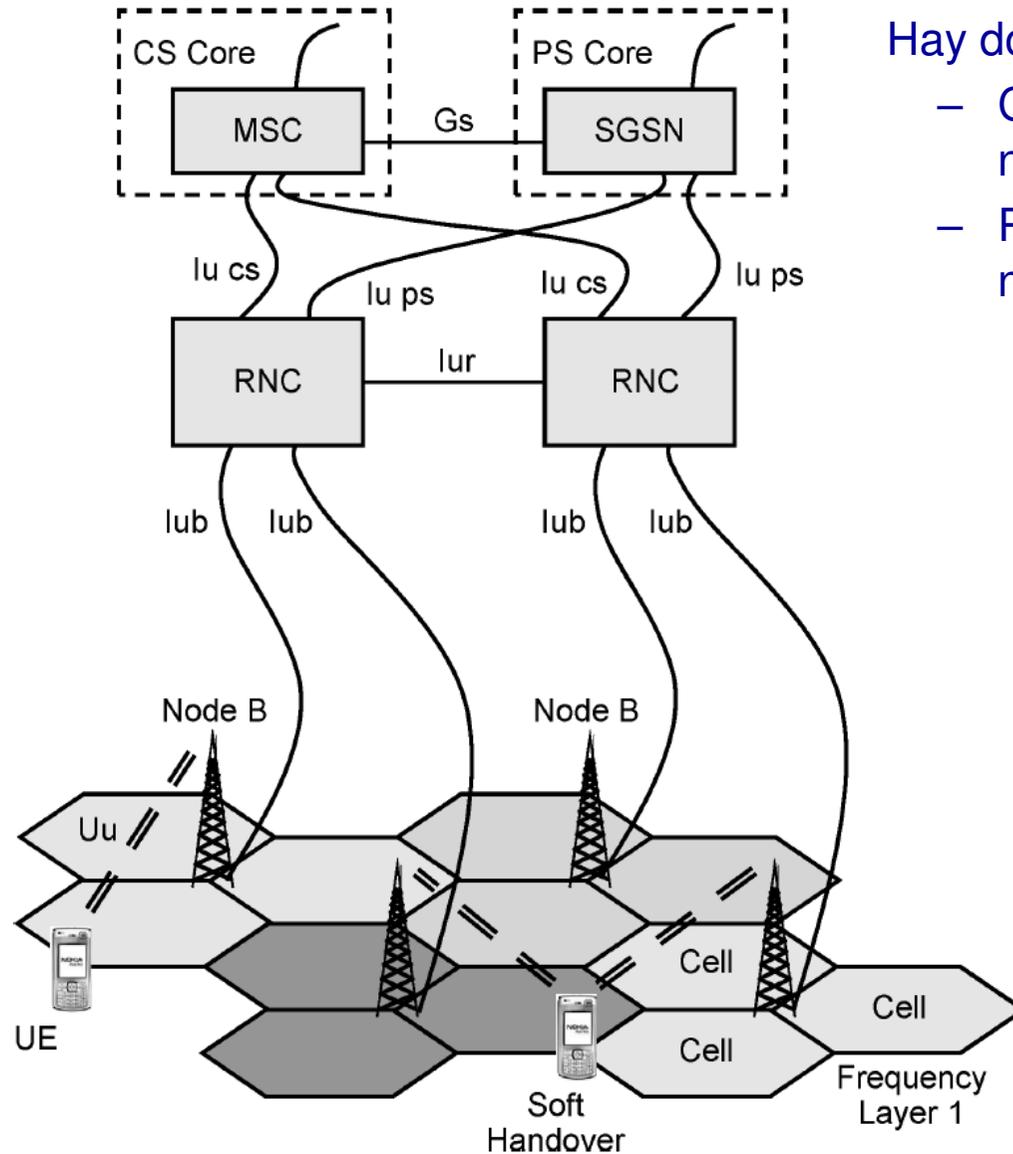
Arquitectura de la red de acceso (UTRAN)



Arquitectura de la red de acceso (UTRAN)

- Terminología:
 - RNS: *Radio Network Subsystem*
 - RNC: *Radio Network Controller*
 - Nodo B (*Node B*): estación base
- El RNC se encarga del control de la red de acceso radio
- El interfaz Iur es necesario para gestionar el traspaso con continuidad entre bases de RNC diferentes.

Arquitectura básica del núcleo de red



Hay dos núcleos de red diferenciados:

- **CS (Circuit Switched):** similar al núcleo de red de GSM
- **PS (Packet Switched):** similar al núcleo de red de GPRS

Zonas e identidades

- MCC, MNC, IMSI, TMSI, P-TMSI, IMEI: como en GSM/GPRS
- Áreas de localización:
 - LA (LAC): como en GSM.
 - RA (RAC): como en GPRS.
 - URA (UTRAN *Registration Area*): concepto nuevo en UMTS. Una célula puede pertenecer a varias URA. Se consigue así una histéresis, similar a la utilizada en los cambios de LA o de RA.
- Célula (CI): como en GSM/GPRS.
- En UMTS existen varios estados de conexión. En función del estado, el móvil tiene que enviar a la red actualizaciones (normales y periódicas) de alguna de estas áreas:
 - LA y RA (*LA Update, RA Update*); o bien
 - URA (*URA Update*); o bien
 - Célula (*Cell Update*; normales y periódicas).

3. Interfaz radio: características generales.
Ensanchamiento espectral.
Canales físicos, lógicos y de transporte.
Estructura de tramas.

Interfaz radio: características generales

- UMTS: componente terrestre / por satélite. Actualmente sólo terrestre: UTRA (UMTS *Terrestrial Radio Access*).
- UTRA: FDMA/DS-CDMA (“WCDMA”) con FDD / TDD. Actualmente sólo el modo FDD está en funcionamiento.
- Separación entre portadoras: 5 MHz
- Velocidad de chip: 3.84 Mc/s
- Ensanchamiento espectral:
 - Códigos de canalización: códigos ortogonales con factor de ensanchamiento variable (OVSF) en potencias de 2.
 - Códigos de aleatorización: varios tipos de códigos PN.
- Modulación: BPSK / QPSK
- Estructura de trama temporal (no TDMA)
- Potencia máxima del terminal móvil: 21 ó 24 dBm habitualmente.
- Conmutación de circuitos y de paquetes.
- Velocidad binaria variable de forma estática y dinámica.
- Traspaso con continuidad (*soft*) y entre portadoras o hacia otros sistemas (*hard*).

Bandas de frecuencias

- Modo FDD: bandas “emparejadas”: 12 portadoras para cada sentido de transmisión
 - UL: 1920–1980 MHz
 - DL: 2110–2170 MHz.

Hay otras bandas, aunque se utilizan menos.

- Modo TDD: bandas “no emparejadas”: 7 portadoras para ambos sentidos de transmisión
 - 1900–1920 MHz
 - 2010–2025 MHz.
- UARFCN (UTRA ARFCN): $f = 0,2n$ (MHz).

Canales lógicos, de transporte y físicos

- **Canales lógicos**: definen el **tipo de información** enviada
De control / de tráfico
- **Canales de transporte**: definen el **formato de envío**
Comunes / dedicados
- **Canales físicos**: definen los **recursos físicos** utilizados:
frecuencia, secuencias código. Además pueden distinguirse por división temporal (en DL) o por fase I/Q (en UL).
Comunes / dedicados
Asociados a canales de transporte / no.

Un canal lógico se puede usar para enviar información de control de las capas superiores (*signalling radio bearer*, SRB) o de tráfico (*radio bearer*, RB).

Canales lógicos

- De control
 - BCCH (*Broadcast Control Channel*, DL): información general de configuración de la red
 - PCCH (*Paging Control Channel*, DL): avisos a móviles
 - CCCH (*Common Control Channel*, DL y UL): otros tipos de señalización común
 - DCCH (*Dedicated Control Channel*, DL y UL): señalización dedicada
- De tráfico
 - DTCH (*Dedicated Traffic Channel*, DL y UL): información dedicada
 - CTCH (*Common Traffic Channel*, DL): información punto-multipunto.

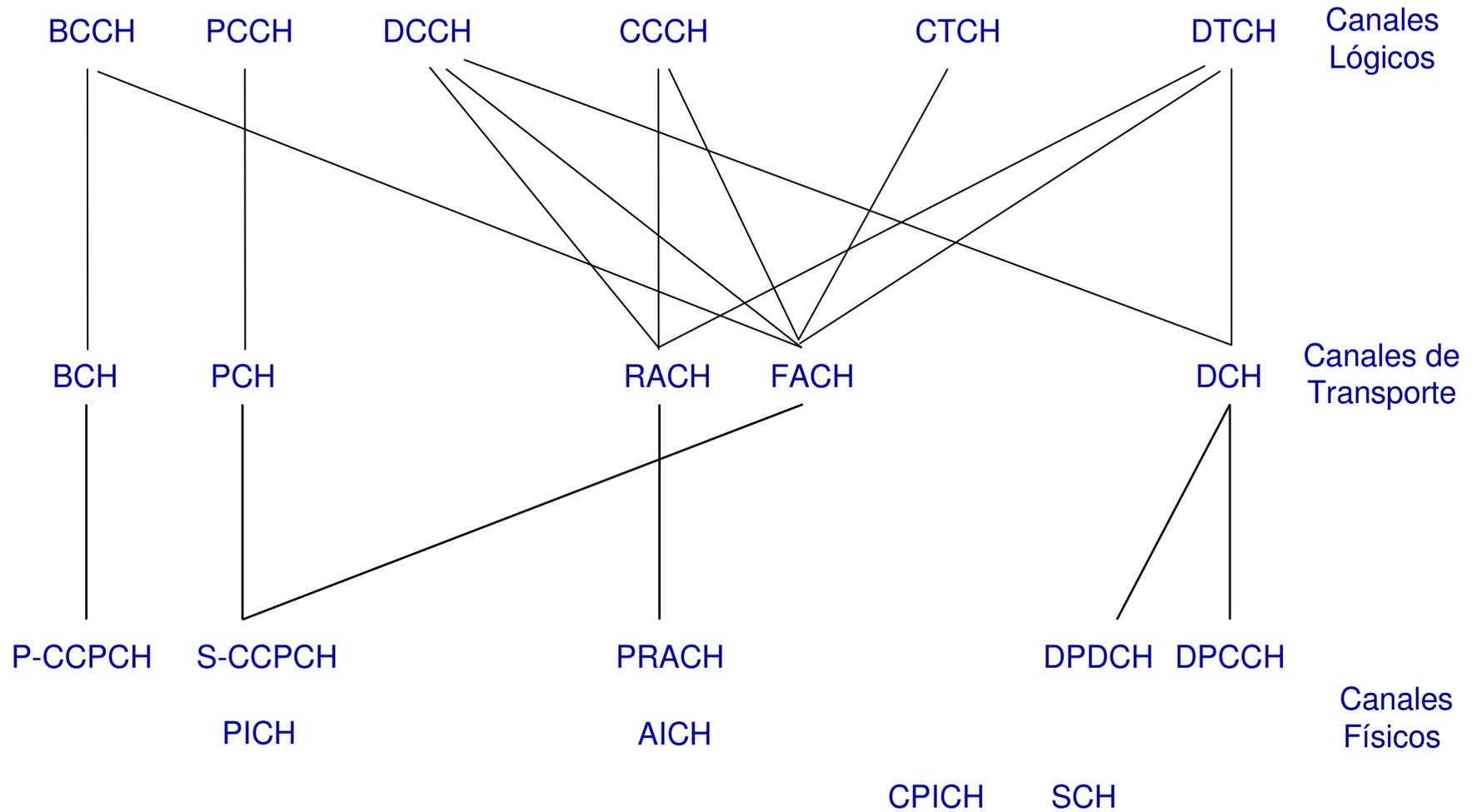
Canales de transporte

- Comunes
 - BCH (*Broadcast Channel*, DL): sustenta el BCCH
 - PCH (*Paging Channel*, DL): sustenta el PCCH
 - RACH (*Random Access Channel*, UL): se utiliza para transacciones cortas cuando el móvil no tiene canal dedicado
 - FACH (*Forward Access Channel*, DL): se utiliza para transacciones cortas cuando el móvil no tiene canal dedicado
- Dedicado
 - DCH (*Dedicated Channel*, DL y UL): se utiliza para transferencias largas de información.

Canales físicos

- Asociados a canales de transporte
 - P-CCPCH (*Primary Common Control Physical Channel*): transmite el BCH
 - S-CCPCH (*Secondary Common Control Physical Channel*): FACH y PCH
 - PRACH (*Physical Random Access Channel*): RACH
 - DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*): DCH, parte de datos (información de capas superiores: tráfico o señalización)
 - DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*): DCH, parte de señalización (de nivel físico).
- No asociados a canales de transporte
 - CPICH (*Common Pilot Channel*): piloto
 - SCH (*Synchronization Channel*): primario (P-SCH) y secundario (S-SCH): sincronización
 - PICH (*Paging Indication Channel*): se usa junto con PCH
 - AICH (*Access Indication Channel*): se usa junto con RACH.

Correspondencias



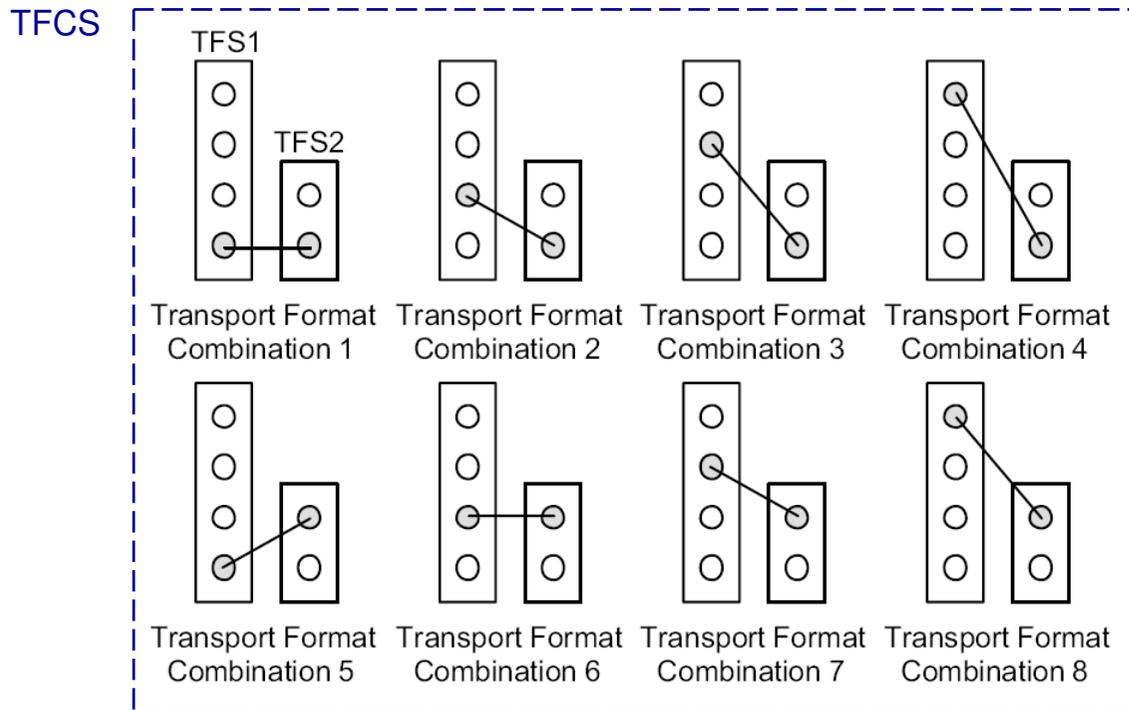
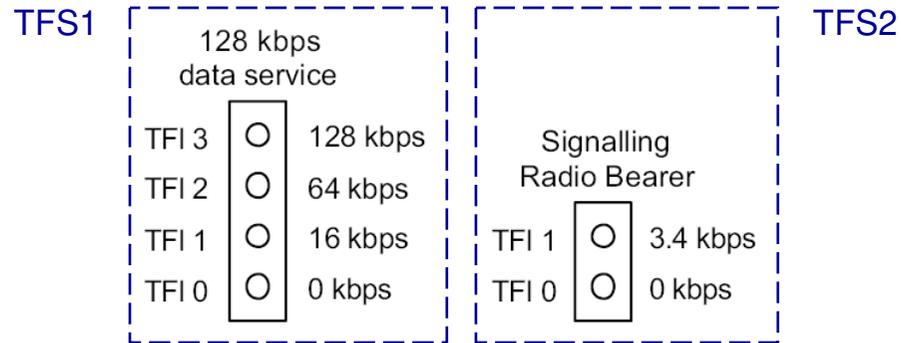
Funcionamiento de los canales de transporte

- Un canal de transporte puede multiplexar varios canales lógicos.
- El canal de transporte se organiza en bloques de transporte (*transport blocks*, TB).
- Cada TTI (*transmission time interval*) se generan uno o varios bloques de transporte. El TTI puede ser 10, 20, 40 u 80 ms.
- Al configurar el canal de transporte, la red define un conjunto de posibles formatos (*transport format*, TF), correspondientes a diferentes tamaños del TB, y por tanto a diferentes tasas binarias.
- Cada formato se identifica mediante un número, TFI (*transport format indicator*). El conjunto de los formatos posibles se denomina TFS (*transport format set*).
- El transmisor elige el tamaño (formato) de cada bloque de transporte, una vez cada TTI, de acuerdo con la información que hay que enviar.
- Cada bloque de transporte se entrelaza. El TTI determina la profundidad de entrelazado.

Funcionamiento de los canales físicos

- Un canal físico puede multiplexar varios canales de transporte (iguales o diferentes entre sí).
- Cada combinación de formato de los canales de transporte (*transport format combination*, TFC) da lugar a una tasa binaria diferente.
- Cada combinación se identifica mediante un número, TFCI (*transport format combination indicator*). El conjunto de todas las combinaciones se llama TFCS (*transport format combination set*).
- Como resultado, se tiene una **tasa binaria variable** que debe ser transmitida por el canal físico.
- Para acomodar esas variaciones de tasa, el canal físico puede variar dinámicamente el **factor de ensanchamiento**, en potencias de 2.
- Para conseguir una variación más fina se utilizan técnicas de adaptación de tasa binaria (*rate matching*), que modifican la **tasa de codificación** de canal para acomodarla al canal físico.

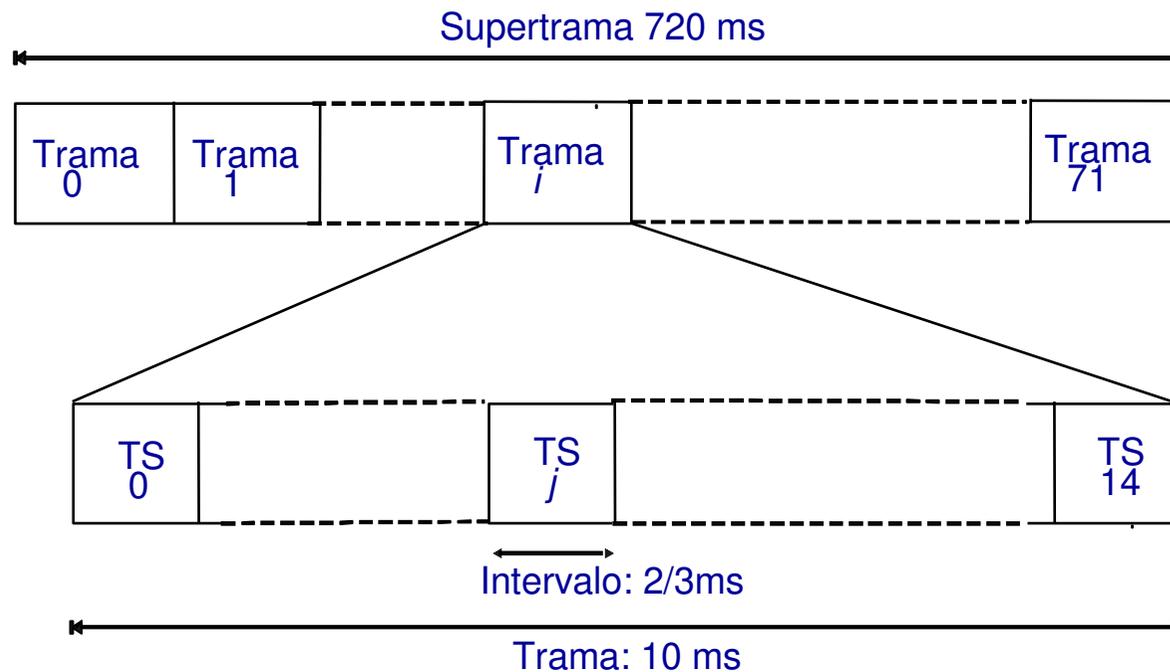
Ejemplo de formatos de transporte



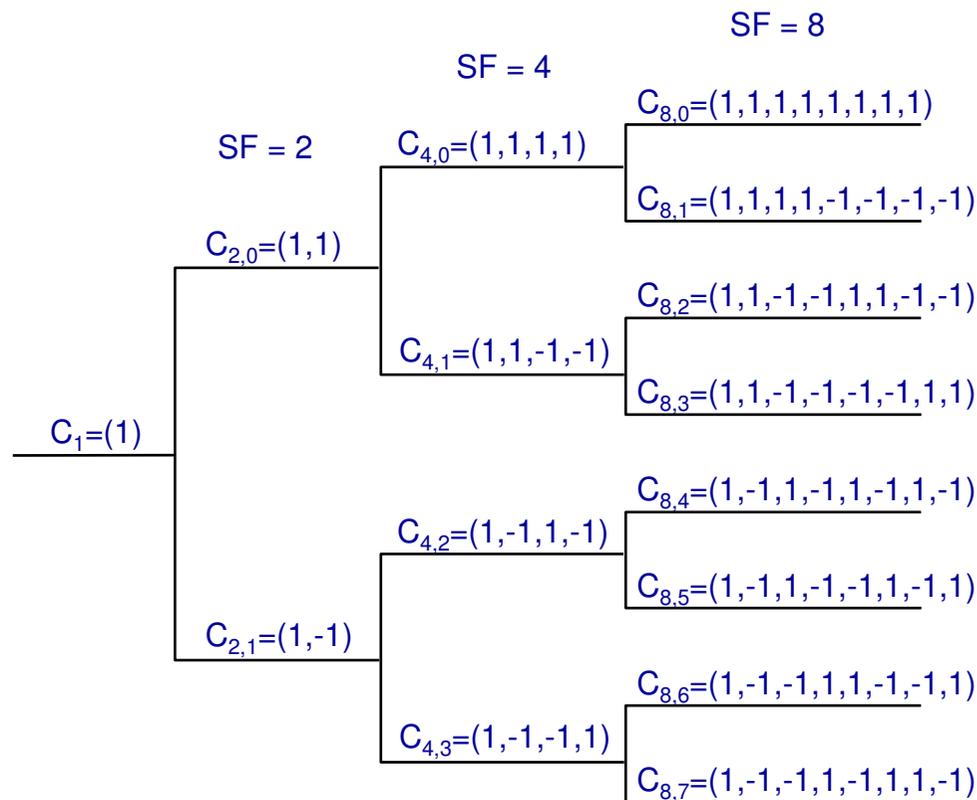
Trama temporal

No se utiliza como forma de acceso múltiple, sino para:

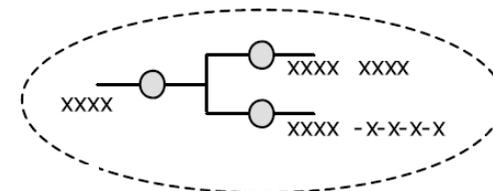
- Informaciones periódicas (en cada intervalo)
- Modo comprimido (en cada trama)
- Control de potencia (en cada intervalo)
- Multiplexación de DPCCH y DPDCH en DL (en cada intervalo)
- Variación dinámica de tasa binaria (en cada trama)



Secuencias código de canalización: OVSF

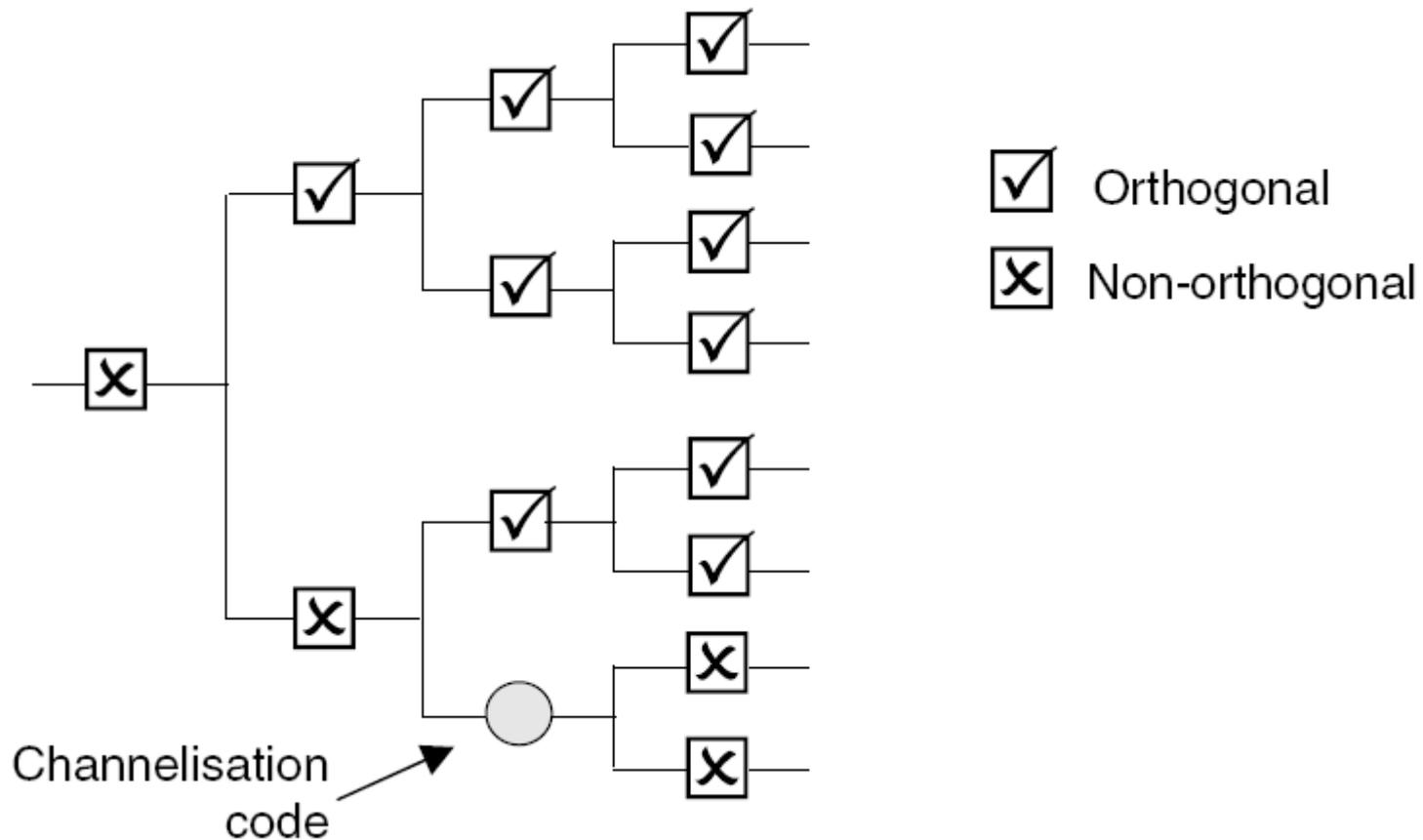


Estructura general



- Son secuencias **ortogonales** (basadas en las de Walsh-Hadamard).
- Proporcionan **diferentes factores de ensanchamiento**, cada uno la mitad del anterior.
- Dos secuencias cualesquiera del árbol son ortogonales siempre que una no descienda de la otra.

Secuencias código de canalización: OVSF



Secuencias código pseudoaleatorias

- DL: se utiliza una familia de códigos “largos”, de periodo 38400 chips (10 ms).
 - *Primary Scrambling Codes* (PSC): existen 512 PSC, organizados en 64 grupos (*Scrambling Code Groups*, SCG) de 8 PSC cada uno. Cada célula o sector usa un único PSC.
 - *Secondary Scrambling Codes* (SSC): cada PSC lleva asociados 15 SSC, de uso opcional en la célula o sector.
- UL: dos opciones:
 - Códigos “largos”, de periodo 38400 chips (10 ms): Son los utilizados normalmente.
 - Códigos “cortos”, de periodo 256 chips (66,7 μ s): Son más adecuados si se utiliza detección multiusuario en la estación base.

Canal piloto (CPICH)

- Hay uno **primario** (P-CPICH), y puede haber varios **secundarios** (S-CPICH).
- No transmiten información: todos los bits son 0.
- P-CPICH:
 - Hay uno por célula o sector.
 - Utiliza en torno al 10% de la potencia transmitida por la base.
 - Se ensancha por medio de la secuencia OVSF (256,0) (todos los chips son 1) y del PSC de esa célula o sector.
- S-CPICH:
 - Puede haber varios, asociados a haces diferentes en caso de utilizar antenas adaptativas (*beamforming*).
 - Emplean otras secuencias OVSF; y pueden utilizar el PSC o un SSC.

Canal piloto (CPICH)

- El móvil utiliza el P-CPICH o S-CPICH para:
 - Referencia de **tiempo**;
 - Referencia de **fase y estimación de canal**;
 - Medidas de **atenuación**:
 - Nivel recibido en CPICH: *RSCP* (*Received Signal Code Power*)
 - Interferencia total: *RSSI* (*Received Signal Strength Indicator*)
 - SIR del CPICH (denominada E_C/I_0): $E_C/I_0 = RSCP / RSSI$.
- Los sectores del mismo emplazamiento transmiten sus CPICH con una diferencia de tiempo constante.
- Las células o sectores de emplazamientos diferentes no están sincronizados.

Canales SCH

- Hay P-SCH y S-SCH. Los dos son obligatorios.
- No usan secuencias OVVSF: no son ortogonales al resto de canales.
- Usan potencia fija, típicamente 3 dB menos que el CPICH.
- P-SCH:
 - Secuencia de 256 chips (66,7 μ s) que se transmite en el primer 10% de cada intervalo.
 - Todas las células usan la misma secuencia.
 - Este canal se utiliza para **sincronización de intervalo**.
- S-SCH:
 - Combinación de 15 secuencias de 256 chips. Cada secuencia se transmite en el primer 10% de un intervalo. La combinación de 15 secuencias se repite cada trama radio (10 ms).
 - Hay 16 posibles secuencias, y se definen 64 combinaciones permitidas de 15 secuencias.
 - Cada combinación corresponde a un SCG.
 - Este canal se utiliza para **sincronización de trama radio** y para **identificación de SCG**.

Sincronización inicial del móvil

1. P-SCH:

- Sincronización de intervalo
 - El P-SCH utiliza una secuencia fija

2. S-SCH:

- Sincronización de trama radio
 - El S-SCH usa una cierta combinación de 15 secuencias (de entre 64 posibles combinaciones) que se repite cada trama radio
- Identificación del SCG
 - La combinación de 15 secuencias indica el SCG
 - Hay que elegir 1 entre 64 candidatos

3. CPICH:

- Identificación del PSC dentro del SCG
 - El CPICH utiliza el PSC
 - Hay que elegir 1 entre 8 candidatos

Canal físico P-CCPCH

- Se transmite con potencia constante (típicamente 5 dB menos que el CPICH).
- Se ensancha por medio del código OVSF (256,1) y del PSC.
- Se multiplexa en el tiempo con P-SCH y S-SCH: 90% restante del intervalo.
- Usa codificación de canal convolucional de tasa 1/2.
- Es el primer canal que escucha el móvil que incluye información de capas superiores a la física (antes debe escuchar SCH y CPICH para sincronizarse).
- Para recibir el resto de canales se necesita conocer la información enviada por el P-CCPCH (canal lógico BCCH).

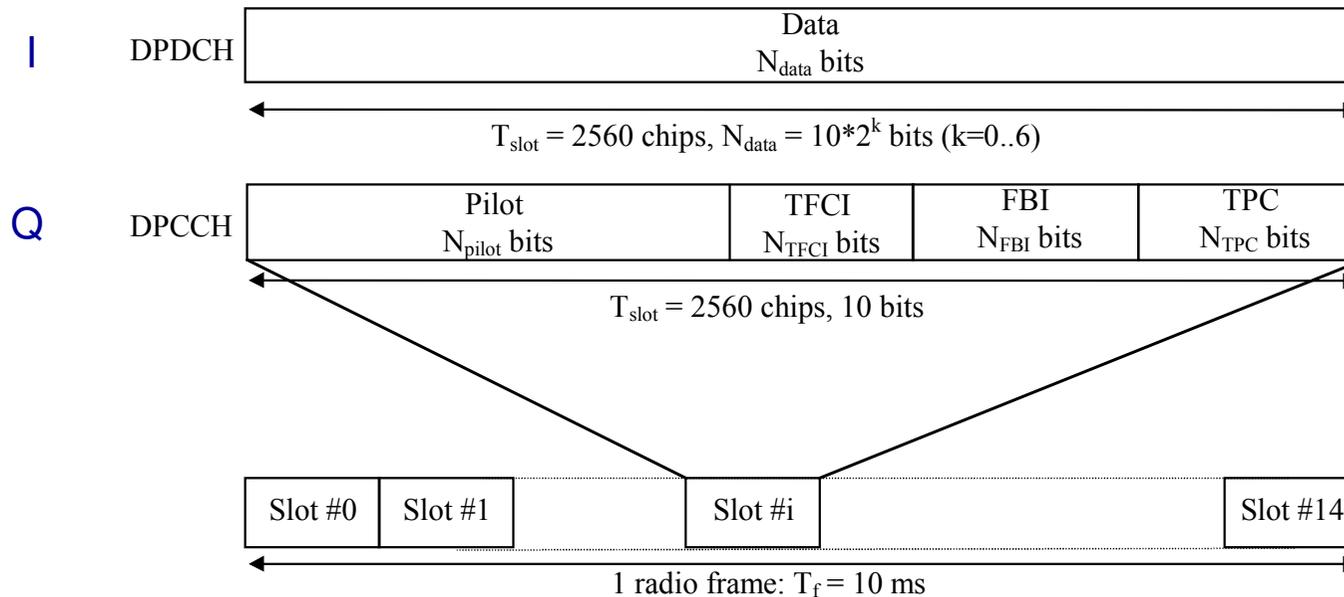
Canal físico S-CCPCH

- Puede haber uno o varios canales S-CCPCH
- SF entre 4 y 256. El S-CCPCH que lleva el PCH usa el PSC; otros S-CCPCH, si existen, pueden usar el PSC o un SSC. Se indica en el BCCH.

Canales físicos dedicados (DPDCH, DPCCH)

- UL:
 - Factor de ensanchamiento: 4, 8, 16, ..., 256 (chips/bit)
 - DPDCH y DPCCH multiplexados en I/Q (no en el tiempo: así se reduce interferencia en equipos de audio cuando haya DTX en el DPDCH)
 - Tasa variable en DPDCH a nivel de trama, modificando el factor de ensanchamiento y la potencia, o usando DTX si no hay nada que transmitir.
- DL:
 - Factor de ensanchamiento: 4, 8, 16, ..., 512 (chips/símbolo)
 - DPDCH y DPCCH multiplexados en el tiempo
 - Tasa variable en DPDCH a nivel de trama, mediante transmisión discontinua (DTX) a nivel de bits.

Canales físicos dedicados en UL



Pilot: bits piloto, para demodulación (estimación de canal) y control de potencia (medida de SIR).

TPC (*transmit power control*): control de potencia en bucle cerrado (interno).

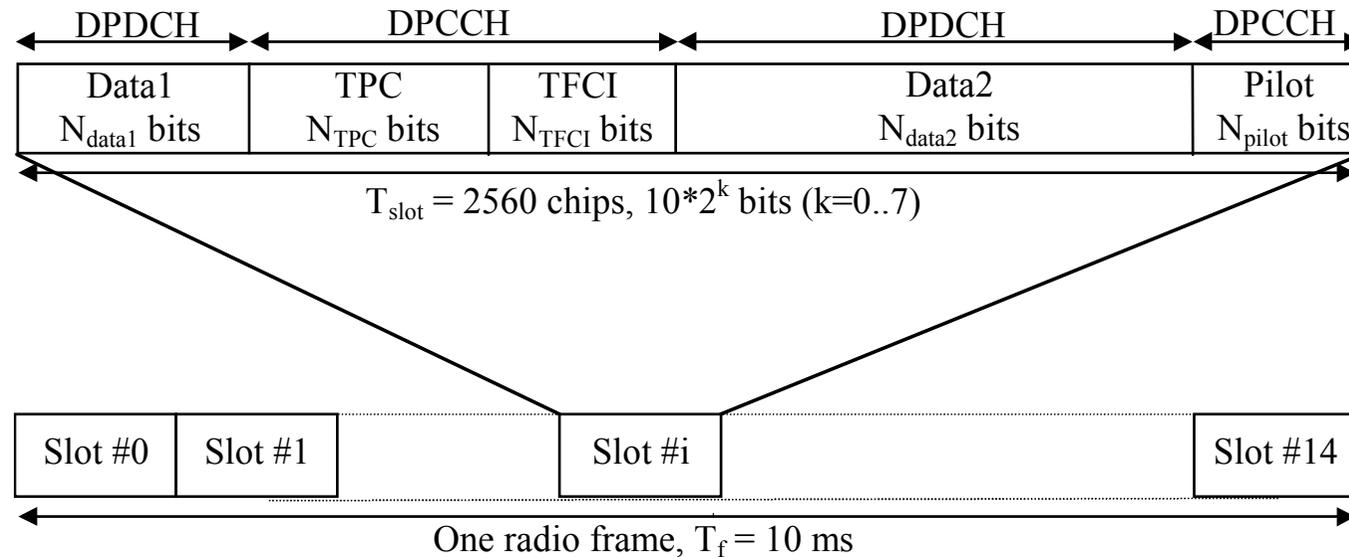
TFCI (*transport format combination indicator*): combinación de formato de transporte, para tasa binaria variable; campo opcional.

FBI (*feedback indicator*): para diversidad de transmisión en bucle cerrado en DL.

Canales físicos dedicados en UL

- DPCCH: SF = 256:
Tasa binaria = 15 kb/s (BPSK): 10 bits/intervalo.
- DPDCH: SF' = 2^{8-k} , $k = 0, \dots, 6$: SF = 256, ..., 4:
Tasa binaria = 15, ..., 960 kb/s.
- Los canales DPCCH y DPDCH pueden transmitirse con amplitudes diferentes.
- Puede no haber DPDCH en algunas tramas (DTX). El DPCCH se envía siempre (control de potencia).
- Hay varios formatos de intervalo, que determinan los valores de SF', N_{pilot} , N_{TFCI} , N_{FBI} , N_{TPC} .
- Pueden enviarse varios DPDCH en paralelo. No es usual.

Canales físicos dedicados en DL



Pilot: bits piloto (para estimación de canal puede usarse también el CPICH, pero para estimación de SIR son necesarios bits piloto).

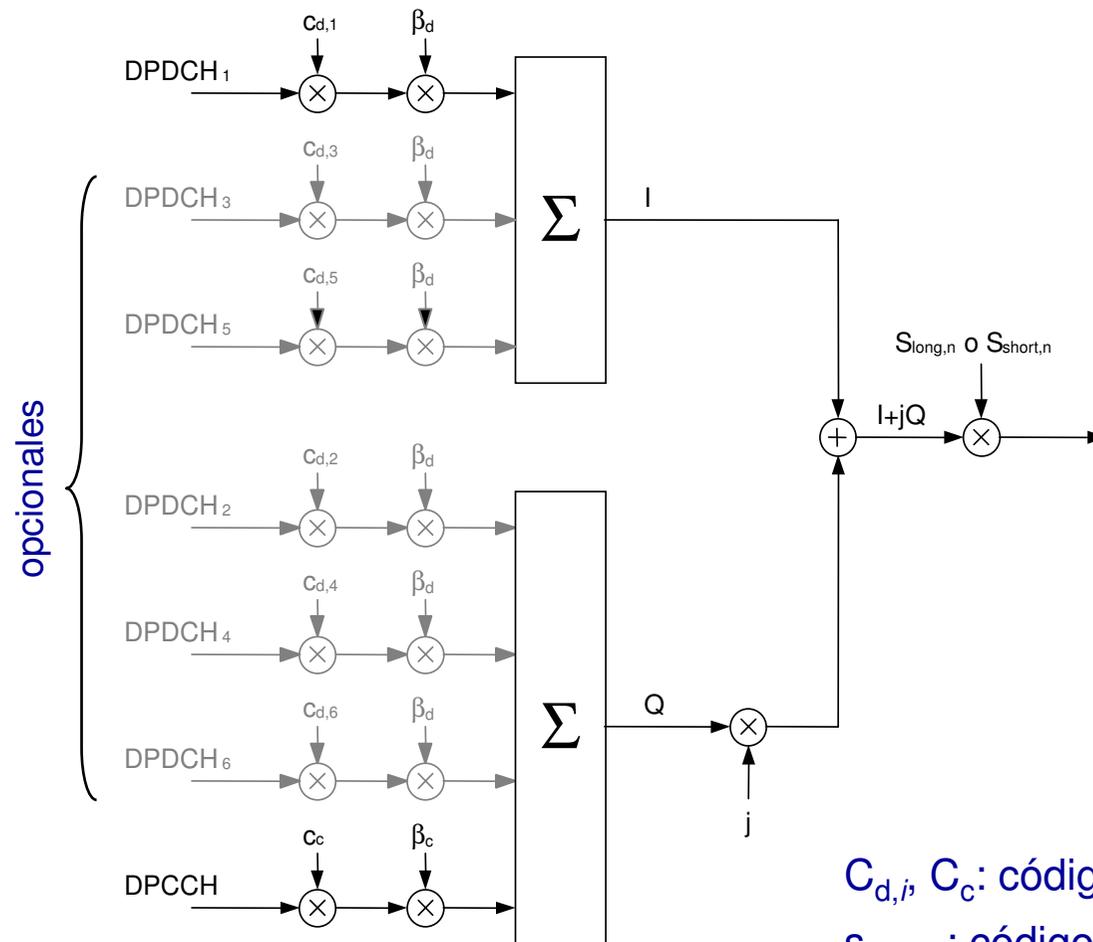
TPC: *transmit power control*.

TFCI: *transport format combination indicator*.

Canales físicos dedicados en DL

- Se denomina DPCH al conjunto de DPCCH y DPDCH.
- DPCH: $SF = 2^{9-k}$, $k = 0, \dots, 7$: $SF = 4, \dots, 512$:
Tasa binaria = 15, ..., 1920 kb/s (QPSK).
- Hay varios formatos de intervalo, que determinan los valores de SF , N_{data1} , N_{data2} , N_{TPC} , N_{TFI} , N_{pilot} .
- Los campos correspondientes a DPCCH y DPDCH pueden transmitirse con amplitudes diferentes.
- Puede no haber DPDCH en algunas tramas (DTX). El DPCCH se envía siempre (control de potencia).
- Puede haber más canales DPDCH (sin DPCCH) en paralelo. No es usual.

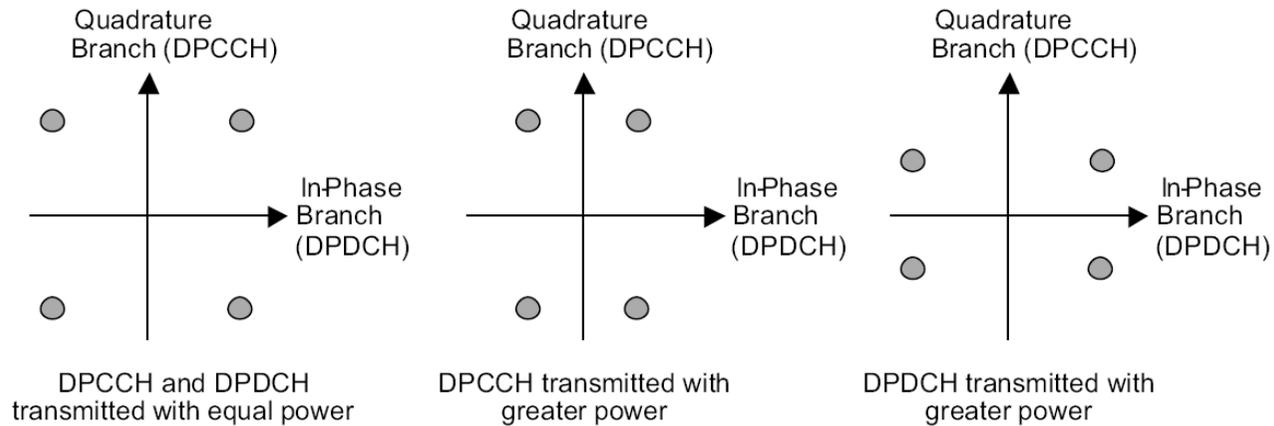
Ensanchamiento en UL



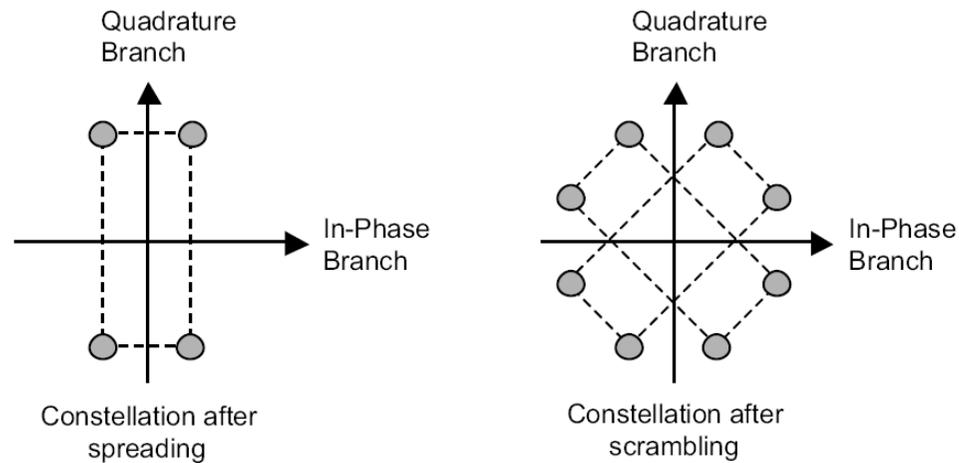
$C_{d,i}$, C_c : códigos de canalización: reales
 $S_{long,n}$: código de aleatorización largo: complejo
 $S_{short,n}$: código de aleatorización corto: complejo
 β_d , β_c : factores de ganancia

Constelación en UL

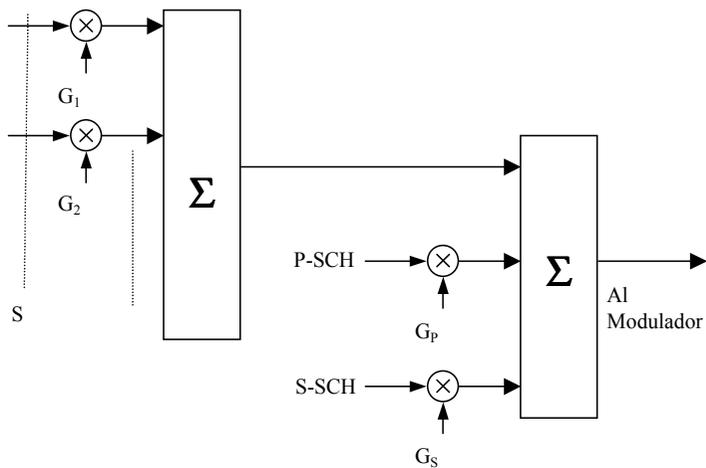
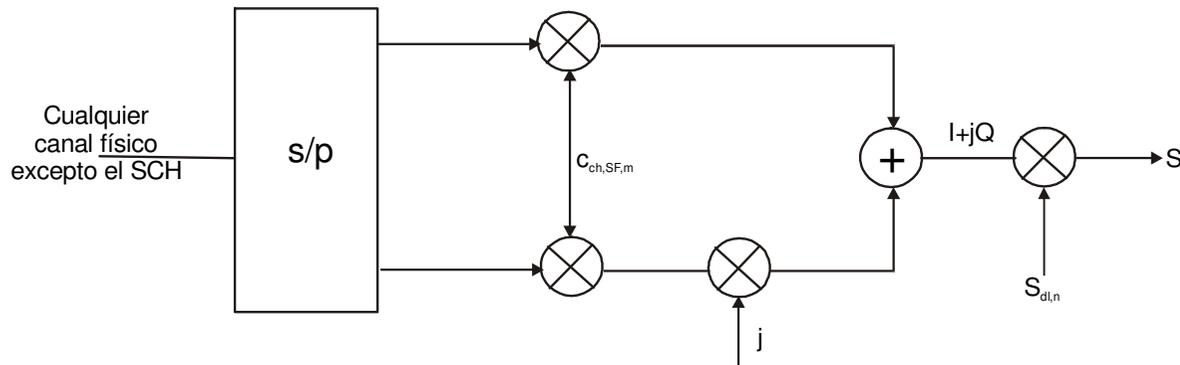
Constelación antes de aleatorización



Efecto de la aleatorización



Ensanchamiento en DL



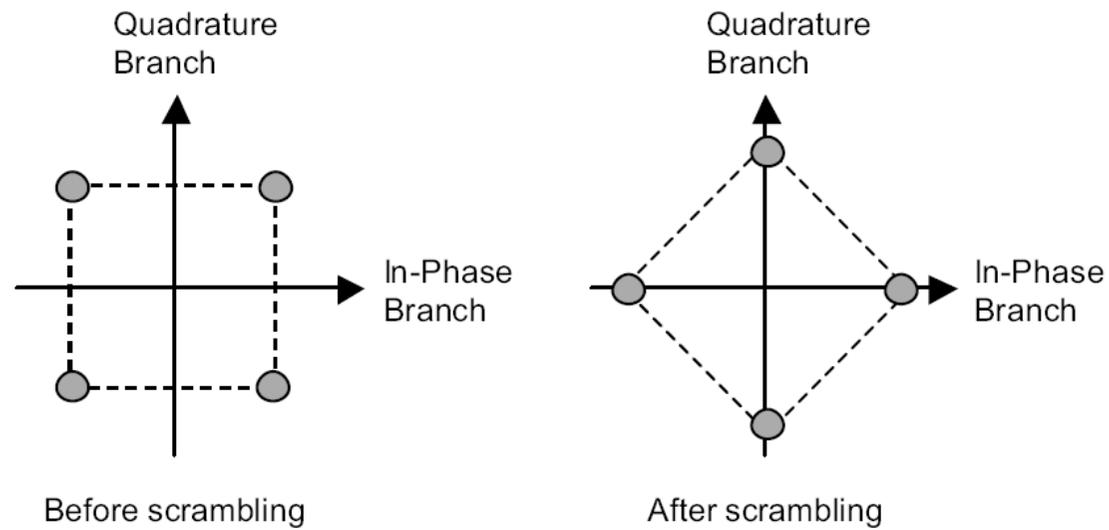
$C_{ch,SF,m}$: código de canalización: real

$S_{dl,n}$: código de aleatorización, largo: complejo

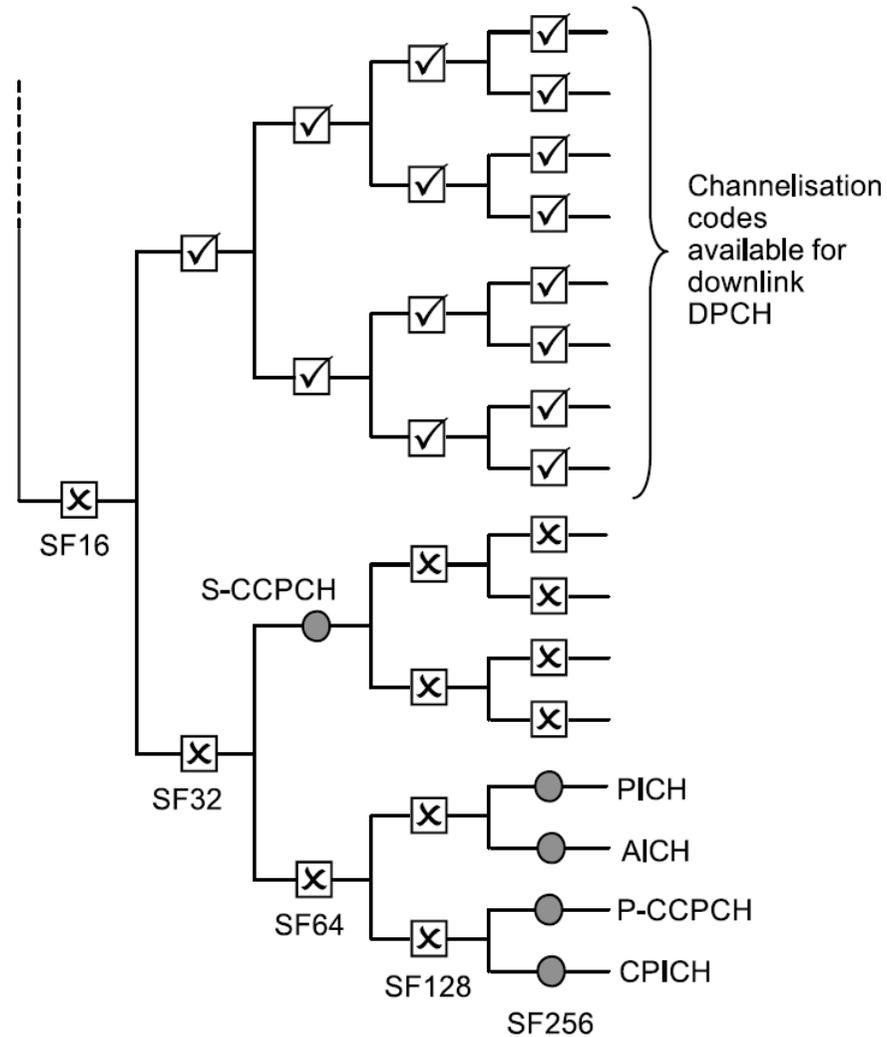
G : factores de ganancia

Constelación en DL

Efecto de la aleatorización

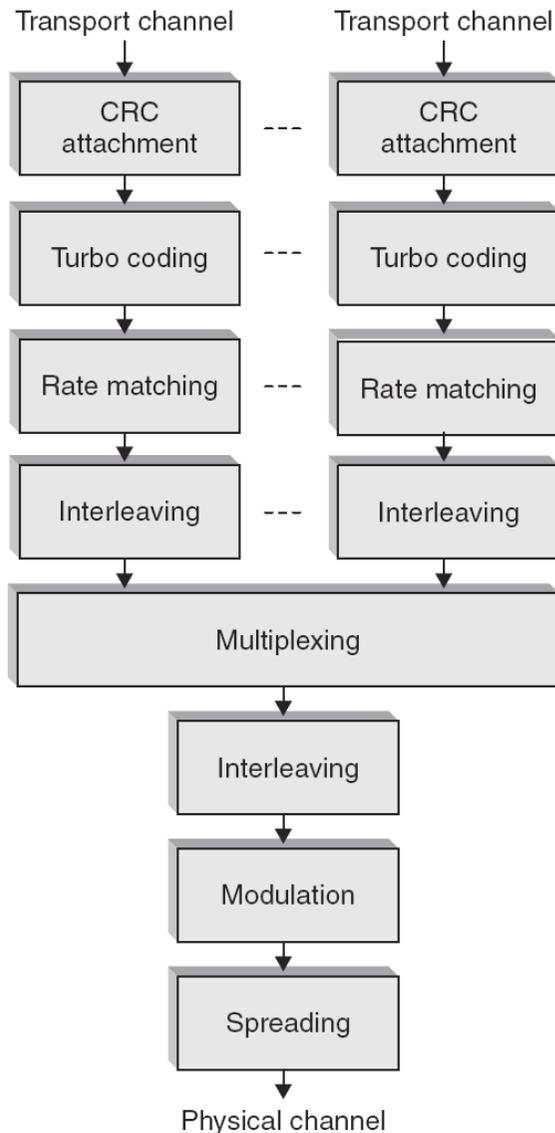


Ejemplo de códigos utilizados en DL



4. Adaptación de tasa, modulación, codificación, entrelazado.

Procesado de la señal en la capa física



- Primer entrelazado: 20, 40 u 80 ms
- Segundo entrelazado: 10 ms
- Adaptación de tasa:
 - El número de canales de transporte presentes, y sus tasas, son distintas en cada momento (presencia o no de señalización, actividad vocal, ...)
 - La adaptación de tasa permite multiplexar varios canales de transporte, con una tasa total variable, en un canal físico.

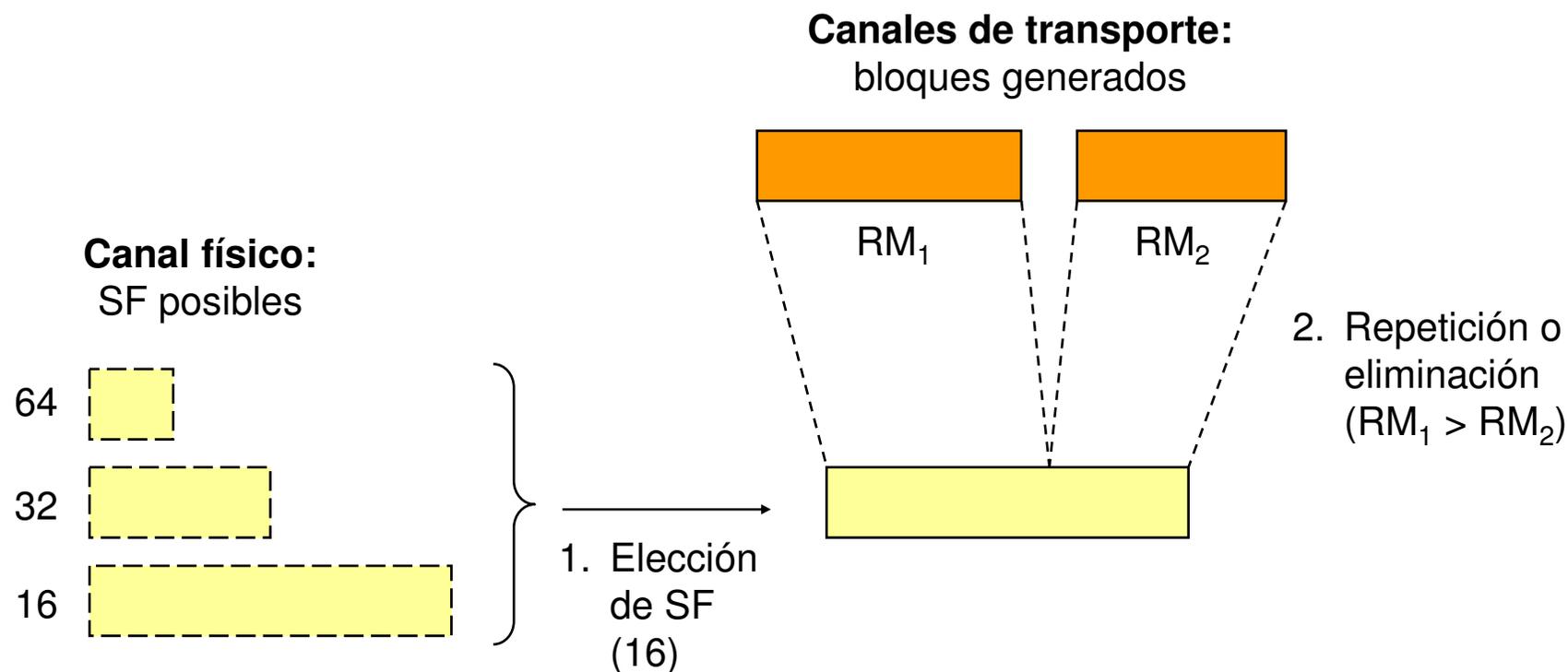
Adaptación de tasa en sentido ascendente

- Parámetros (especificados al inicio de la conexión):
 - El **canal físico** (DPDCH) tiene un **conjunto de SF permitidos**.
 - Cada **canal de transporte** tiene un **RM** (*Rate Matching attribute*), que controla su “prioridad” respecto a otros canales: fracción de bits que usa del canal físico (aplicando repetición o eliminación).
- Funcionamiento: en cada trama radio (10 ms):
 1. Elegir SF del canal físico: el mayor que evita eliminación, si existe; si no, el SF mínimo, para minimizar la tasa de eliminación.
 2. Repetir o eliminar bits de los canales de transporte, de acuerdo con sus parámetros RM, hasta llenar el canal físico.
- Esto permite multiplexar dinámicamente y de forma flexible un número variable de canales de transporte con tasas variables.
- Los RM se eligen para equilibrar la E_B/N_0 que necesita cada canal de transporte. El bucle externo sólo puede fijar un valor de SIR (o E_B/N_0) objetivo en el canal físico, común para todos los canales de transporte.

Adaptación de tasa en sentido ascendente

Ejemplo:

Canal físico con 3 posibles SF en el que se multiplexan 2 canales de transporte con tasas y RM diferentes



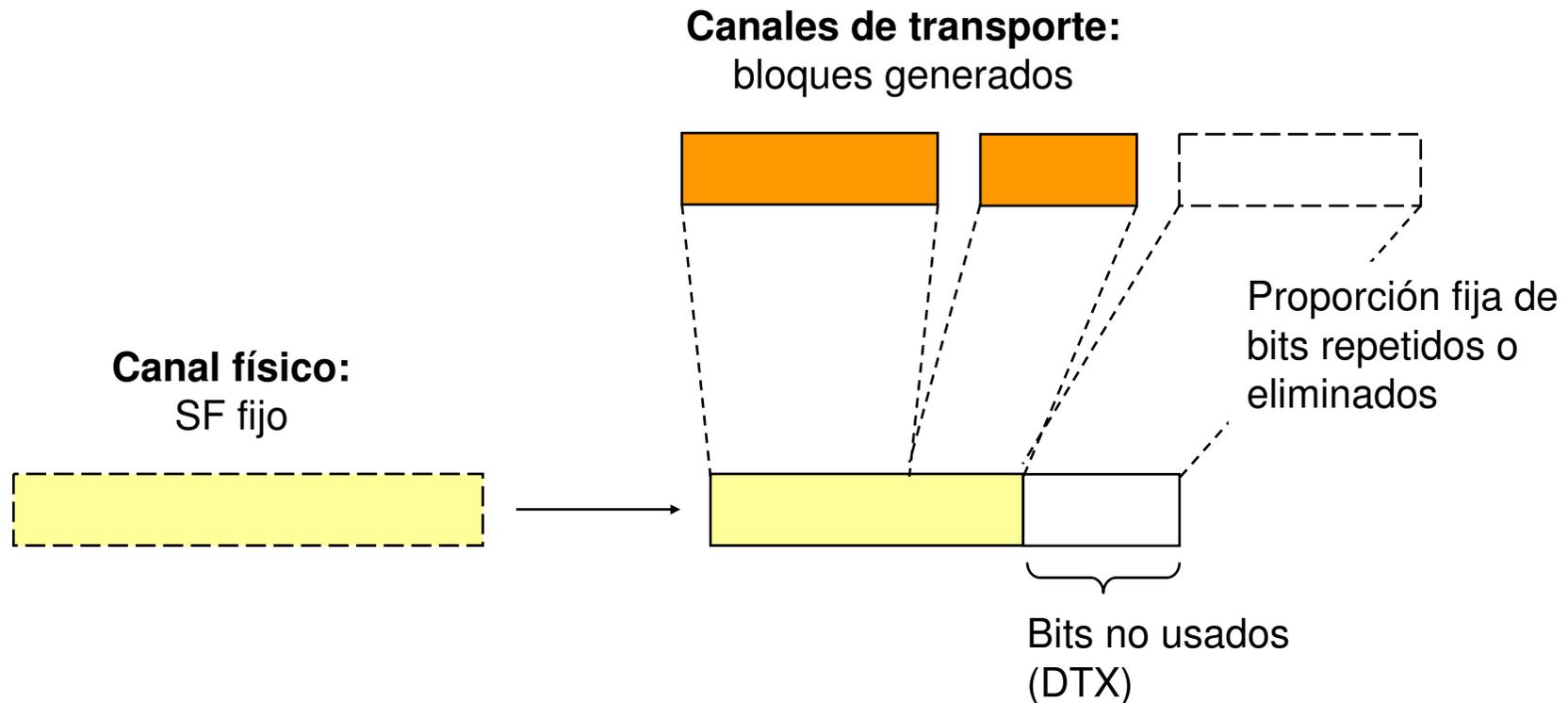
Adaptación de tasa en sentido descendente

- Más simple.
- El SF del canal físico (DPDCH) es fijo.
- La fracción de bits eliminados o repetidos para cada canal de transporte es fija. Corresponde a la combinación de canales de transporte que genera el mayor número de bits en total.
- Por tanto, cada canal de transporte tiene una fracción fija de bits asignados en el canal físico, de los cuales usará los que necesite.
- Cuando haya menos bits que transmitir, se aplicará DTX a nivel de bit en el canal físico (se dejan de transmitir algunos bits).

Adaptación de tasa en sentido descendente

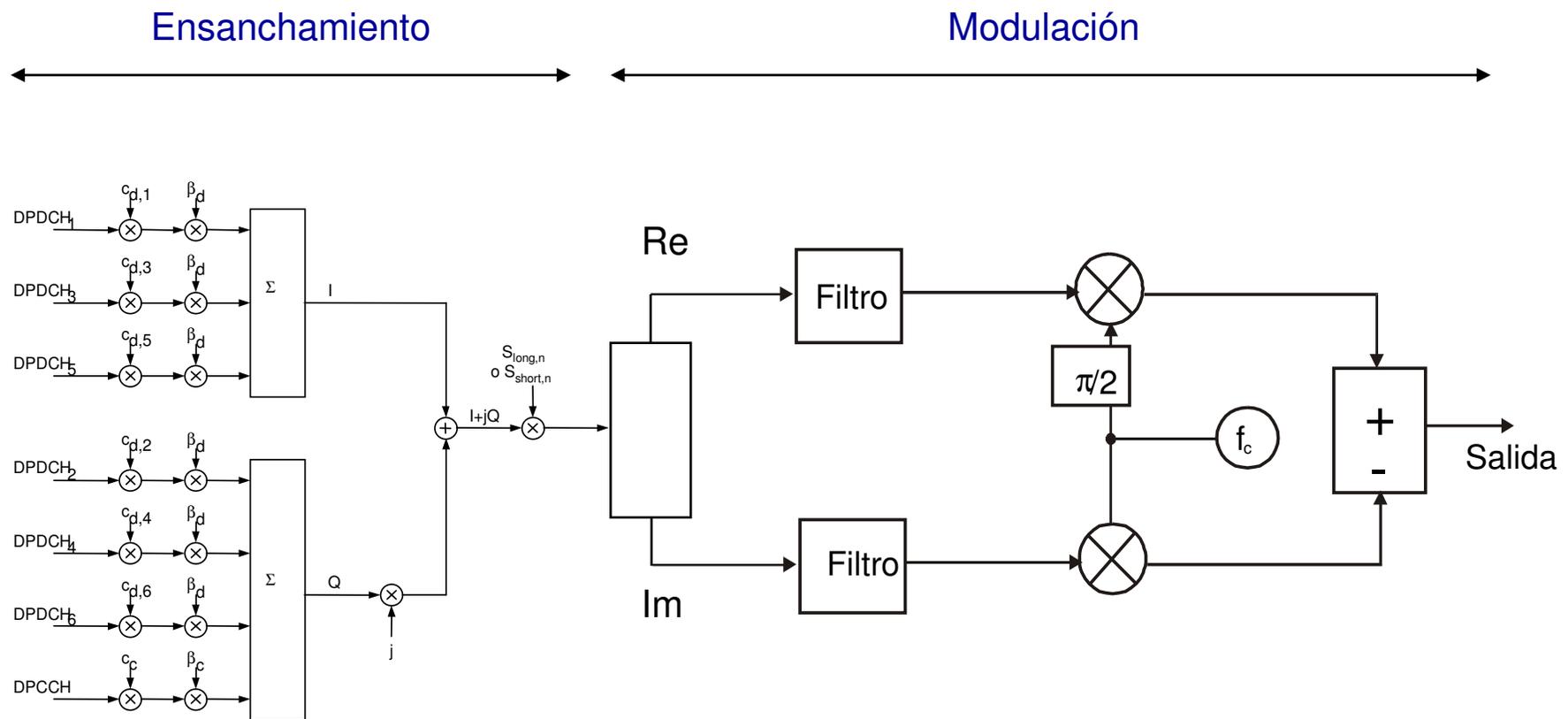
Ejemplo:

Canal físico en el que se multiplexan 3 canales de transporte



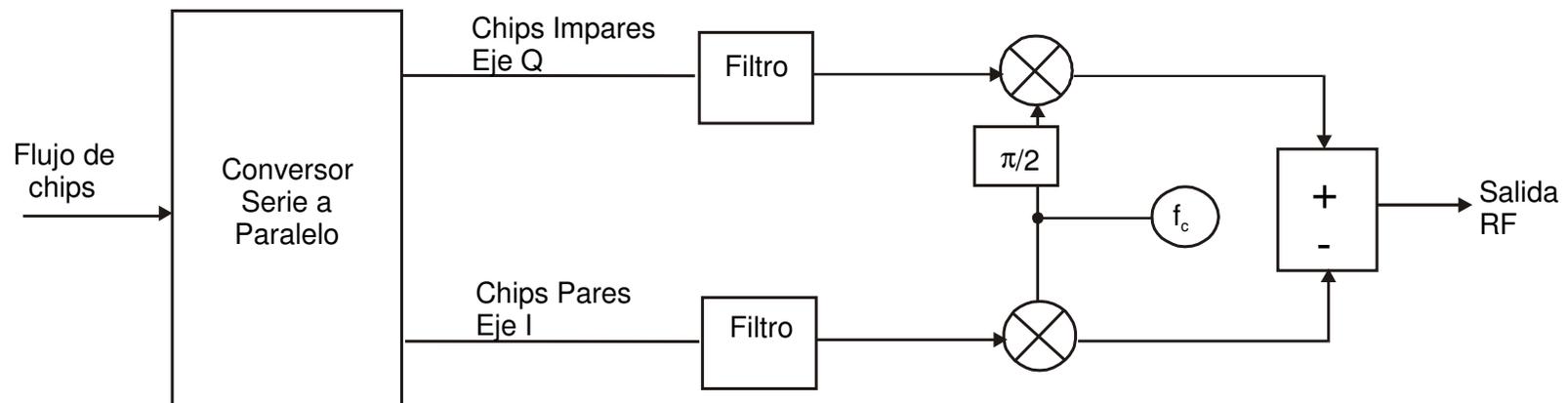
Modulación en UL

- BPSK en cada eje I/Q
- Filtrado en coseno alzado con factor de caída (*roll-off*) 0,22



Modulación en DL

- QPSK
- Filtrado en coseno alzado con factor de caída (*roll-off*) 0,22



Codificación de canal

- Código externo, detector: CRC de 8, 12, 16 ó 24 bits
- Código interno, corrector:
 - Código convolucional de tasa $1/2$ ó $1/3$ y longitud (*constraint length*) 9.
 - Código turbo de tasa $1/3$.
 - Repetición o eliminación de bits para adaptación de tasa.
- Entrelazado (dos etapas) de profundidad 10, 20, 40 u 80 ms, dependiendo del TTI.

5. Procesos asociados a la transmisión: control de potencia, traspaso con continuidad, uso de PCH y PICH, uso de PRACH y AICH, modo comprimido, diversidad de transmisión

Control de potencia

- **Bucle abierto:** se usa en los siguientes casos:
 - En el PRACH (UL): la potencia se calcula a partir de atenuación (el móvil mide potencia recibida en el CPICH y la base indica potencia transmitida) y nivel de interferencia (lo indica la base).
 - En el FACH (DL): cuando la información vaya dirigida a un solo móvil, puede ajustarse su potencia en función de la disponibilidad de medidas enviadas por el móvil.
 - En la transmisión inicial de DPCCH/DPDCH en UL: la potencia se calcula a partir de atenuación (estimada como en PRACH)
 - En la transmisión inicial de DPCCH/DPDCH en DL: la potencia se calcula a partir de medidas enviadas por el móvil (de forma análoga al FACH).

Control de potencia

- **Bucle interno:** se usa en DPCCH y DPDCH.
 - Mide la SIR, compara con la SIR objetivo y envía órdenes para subir o bajar la potencia.
 - La SIR que se mide es la del DPCCH. La relación de amplitudes entre DPCCH y DPDCH es fija (puede variar trama a trama, pero no depende del control de potencia).
 - Las órdenes de control de potencia (bits TPC) tienen típicamente una tasa de error de 1%–5%.
 - Hay dos algoritmos. La base decide cuál se utiliza.
 - Es efectivo a velocidades del móvil bajas (hasta 30–50 km/h).
- **Bucle externo:** se usa en conjunción con el interno.
 - Ajusta la SIR objetivo para garantizar una calidad (BLER).
 - Debe adaptarse a cambios en las condiciones de propagación.
 - Los algoritmos no están estandarizados, pero deben cumplir unas prestaciones mínimas.

Algoritmos de bucle interno

Los N_{TPC} bits de control de potencia recibidos en cada intervalo se combinan (son iguales) para obtener una orden de control de potencia.

La potencia varía en un paso fijo, determinado por la red. Puede ser:
UL: 1, 2, 3 dB. DL: 0,5, 1, 1,5, 2 dB. (Usualmente 1 dB).

Hay dos algoritmos (se usa más el 1):

- **Algoritmo 1:** la orden indica “subir” o “bajar” la potencia en cada intervalo.

En traspaso *soft* en UL, el móvil baja la potencia si la orden recibida de al menos una base es “bajar”.

En traspaso *softer* en UL, el móvil combina las órdenes recibidas de los sectores implicados (son iguales, debido a la diversidad por combinación).

- **Algoritmo 2:** cada 5 intervalos,
 - si las 5 órdenes son “subir” se sube la potencia;
 - si las 5 órdenes son “bajar” se baja la potencia;
 - si no la potencia no varía.

En traspaso *soft* en UL, el móvil combina las 5 órdenes de cada base y luego calcula una media para decidir si sube, baja o mantiene la potencia.

En traspaso *softer* en UL, se combinan las órdenes de los sectores.

Conjuntos de bases

En función de su relación con el móvil, las bases se dividen en varios conjuntos:

- **Active set** (AS): bases que transmiten y reciben al móvil (puede haber más de una: traspaso *soft* o *softer*).
 - Este conjunto se subdivide en *Radio link sets* (RLS). Cada RLS contiene las bases activas que pertenecen a un mismo emplazamiento (puede haber traspaso combinado *soft/softer*).
- **Monitored set**: bases en las que el móvil mide el CPICH (para posibles traspasos), pertenecientes a la lista de vecinas.
- **Detected set**: bases que el móvil detecta pero no pertenecen a la lista de vecinas.

Traspaso

- **Soft.** Entre células o sectores de emplazamientos distintos (bases de RLS distintos).
 - UL: selección en RNC.
 - DL: combinación (excepto bits TPC).
- **Softer.** Entre sectores del mismo emplazamiento (mismo RLS).
 - UL: combinación en el emplazamiento.
 - DL: combinación (incluidos los bits TPC).
- **Soft/softer:** puede haber traspasos combinados, cuando sean entre más de dos bases.
- **Hard.** Puede ser entre portadoras UMTS, o entre sistemas (UMTS-GSM).
- Se basan en la realización de medidas en el móvil y en la base.
- Los algoritmos de traspaso no están estandarizados. El 3GPP propone como referencia algunos algoritmos, basados en el nivel recibido en el canal piloto de cada base.

Informes de medidas

- **Condiciones** que originan el envío de un informe a la base:
 - De manera periódica
 - Cuando ocurran determinados eventos, referidos a ciertas magnitudes
- **Magnitudes** objeto del informe:
 - Propagación: RSCP, E_C/I_0 , ... (DL); potencia transmitida (UL)
 - Tráfico: cantidad de datos para enviar (UL)
 - Otras
- **Conjunto de bases** sobre las que se informa:
 - Bases activas, detectadas o monitorizadas

Múltiples configuraciones posibles: condiciones - magnitud - conjunto de bases.

Uso de PCH y PICH

- El canal de transporte PCH puede emplear DRX, siguiendo el mismo principio que en GSM. El **grupo de aviso** de cada móvil depende del IMSI.
- Los avisos del PCH van precedidos de una **indicación** (muy breve) en el PICH, en función del grupo de aviso.
- El canal PICH usa factor de ensanchamiento 256.
- Si el móvil detecta una indicación (en el canal PICH) para su grupo de aviso, lee el canal PCH por si el aviso es para él.

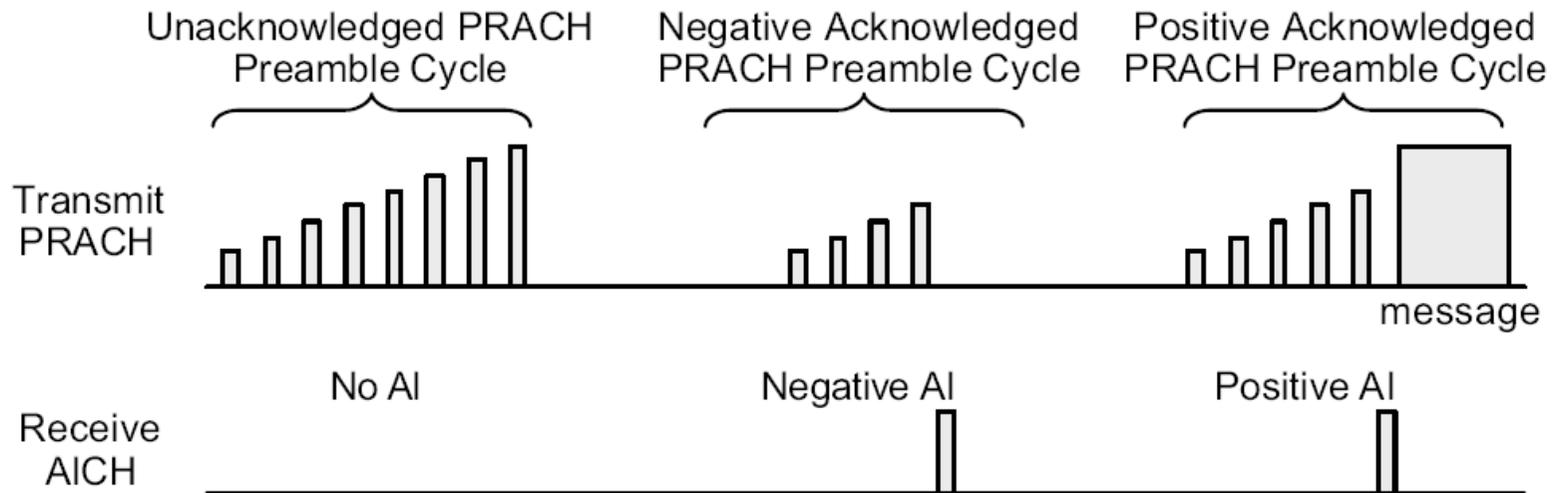
Uso de PRACH y AICH

1. El móvil envía **preámbulos** en el PRACH con potencia creciente (*power ramping*), para evitar generar excesiva interferencia:
 - SF 256, duración de 16 símbolos (4096 chips)
 - Secuencia código elegida aleatoriamente de entre un conjunto de secuencias indicadas por la base en el BCCH
 - Potencia inicial: bucle abierto, a partir de medidas del móvil y parámetros enviados en el BCCH
 - Paso de aumento de potencia: 1–8 dB; se indica en el BCCH.
2. La base envía una **respuesta** por el AICH.
 - SF 256, duración de 16 símbolos (4096 chips)

Resultados posibles :

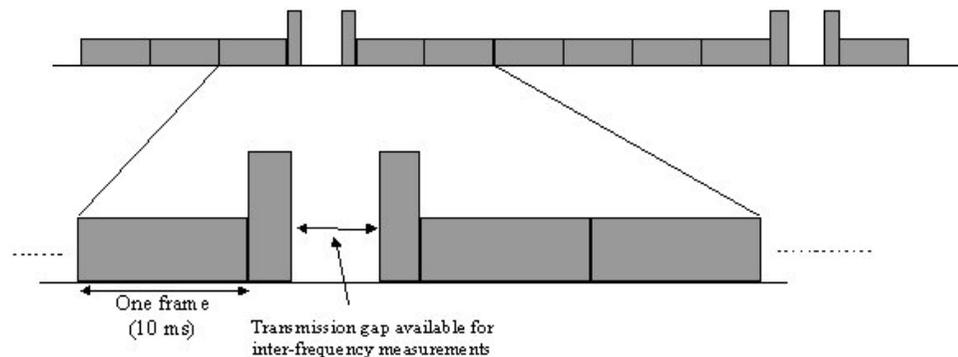
- No respuesta: reintento
 - Respuesta negativa: reintento
 - Respuesta positiva: el móvil puede transmitir el mensaje.
1. El móvil envía el **mensaje** en el PRACH:
 - Duración: 10 ó 20 ms.
 - Rama I: datos de nivel físico: SF 32, 64, 128 ó 256.
 - Rama Q: señalización de nivel físico (bits piloto, TFCI): SF 256.

Uso de PRACH y AICH



Modo comprimido

- Consiste en **crear huecos** en la transmisión para posibilitar **medidas en otras frecuencias** (para traspasos *hard*)
- Por decisión de la red, se modifica la transmisión durante parte de la trama, de alguna de estas formas:
 - Dividiendo el factor de ensanchamiento entre 2
 - Planificación de tráfico por capas superiores a la física y se suspende la transmisión en el resto de la trama.
- Para mantener la calidad hay que **incrementar la potencia durante la parte activa** de la trama.



Diversidad de transmisión en DL

- Característica opcional (los móviles deben soportarla)
 - Se utilizan 2 antenas transmisoras
 - Cada antena transmisora envía el canal piloto (CPICH) con bits diferentes, para estimación de canal:
 - Todo ceros en una antena
 - 4 unos y 4 ceros repetidos periódicamente en la otra antena
1. Diversidad de transmisión en bucle cerrado (*transmit adaptive antenna*, TxAA):
- Sólo puede usarse en canales dedicados (DPDCH, DPCCH).
 - Se basa en **realimentación**.
 - La base ajusta la fase relativa entre antenas (vector de precodificación), de entre 4 posibles.
 - El móvil estima los canales correspondientes a cada antena.
 - El móvil indica el ajuste de fase adecuado, usando los bits FBI del DPCCH ascendente.

Diversidad de transmisión en DL

2. Diversidad de transmisión en bucle abierto (*space-time transmit diversity*, STTD):

- Puede emplearse en canales comunes (P-CCPCH, S-CCPCH) o dedicados (DPDCH, DPCCH).
- Usa codificación espacio-temporal de **Alamouti** (2 antenas de transmisión, 2 intervalos de símbolo).
- El móvil debe estimar los dos canales, pero no requiere realimentación: se usa una precodificación fija.
- Equivale a diversidad de recepción MRC, supuesto que el canal no varía en periodos de símbolo consecutivos.
- Al usar un receptor Rake, la decodificación espacio-temporal debe aplicarse para cada rama del receptor por separado, ya que depende de los coeficientes de canal.

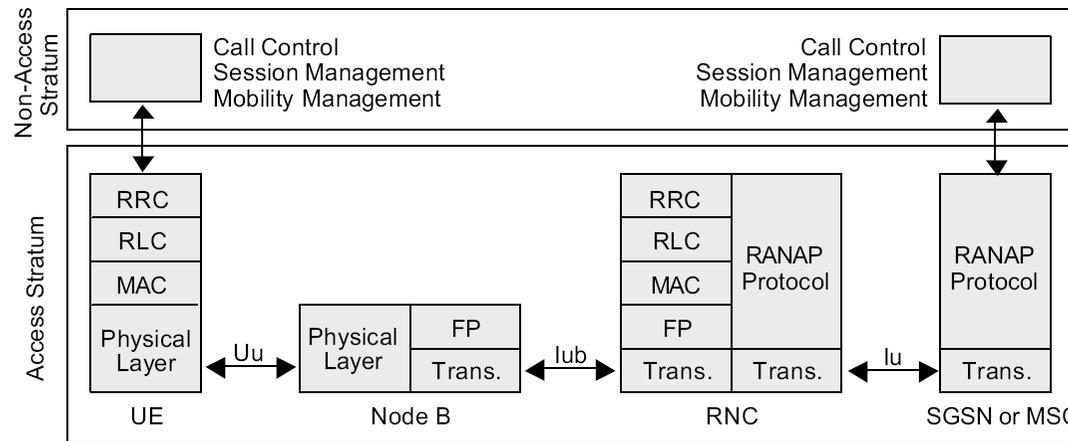
Diversidad de transmisión en DL

3. Diversidad de transmisión en bucle abierto con alternancia temporal (*time-switched transmit diversity*, TSTD):
 - Puede emplearse en el canal SCH (P-SCH y S-SCH).
 - Consiste en transmitir una ráfaga (secuencia de 256 chips) por una antena y la siguiente por la otra, de forma alternada.
 - No requiere realimentación.
 - Es realmente “**diversificación**” (no diversidad).

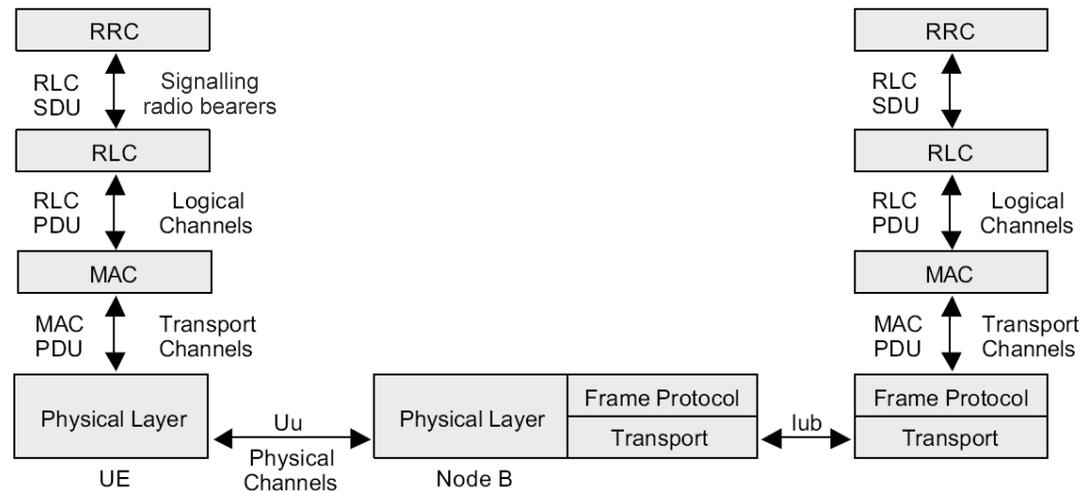
6. Protocolos. Estados de conexión. Gestión de movilidad. Servicios.

Protocolos en la interfaz radio

- Plano de control: protocolos relativos a señalización

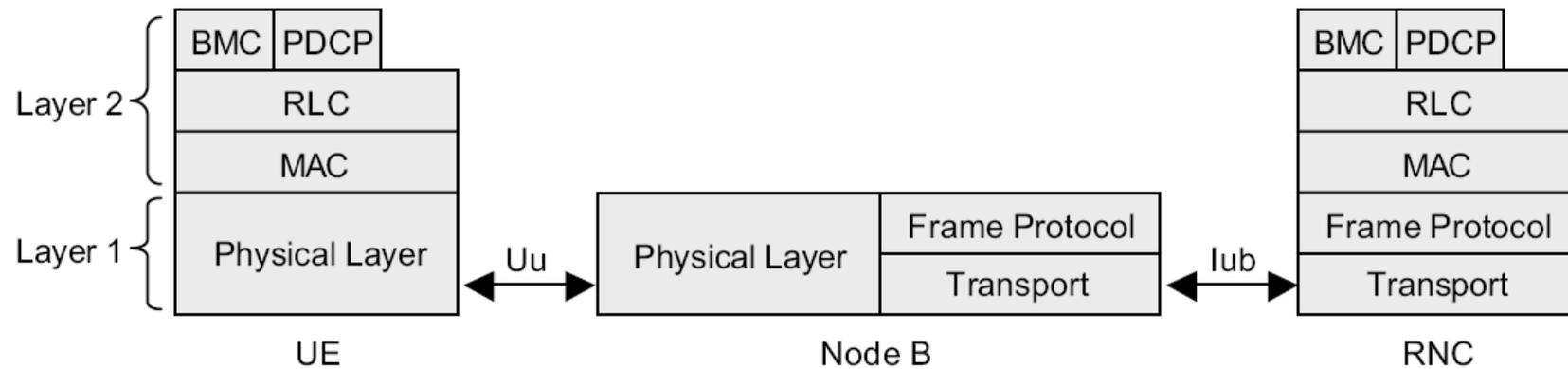


Detalle: canales físicos, de transporte y lógicos

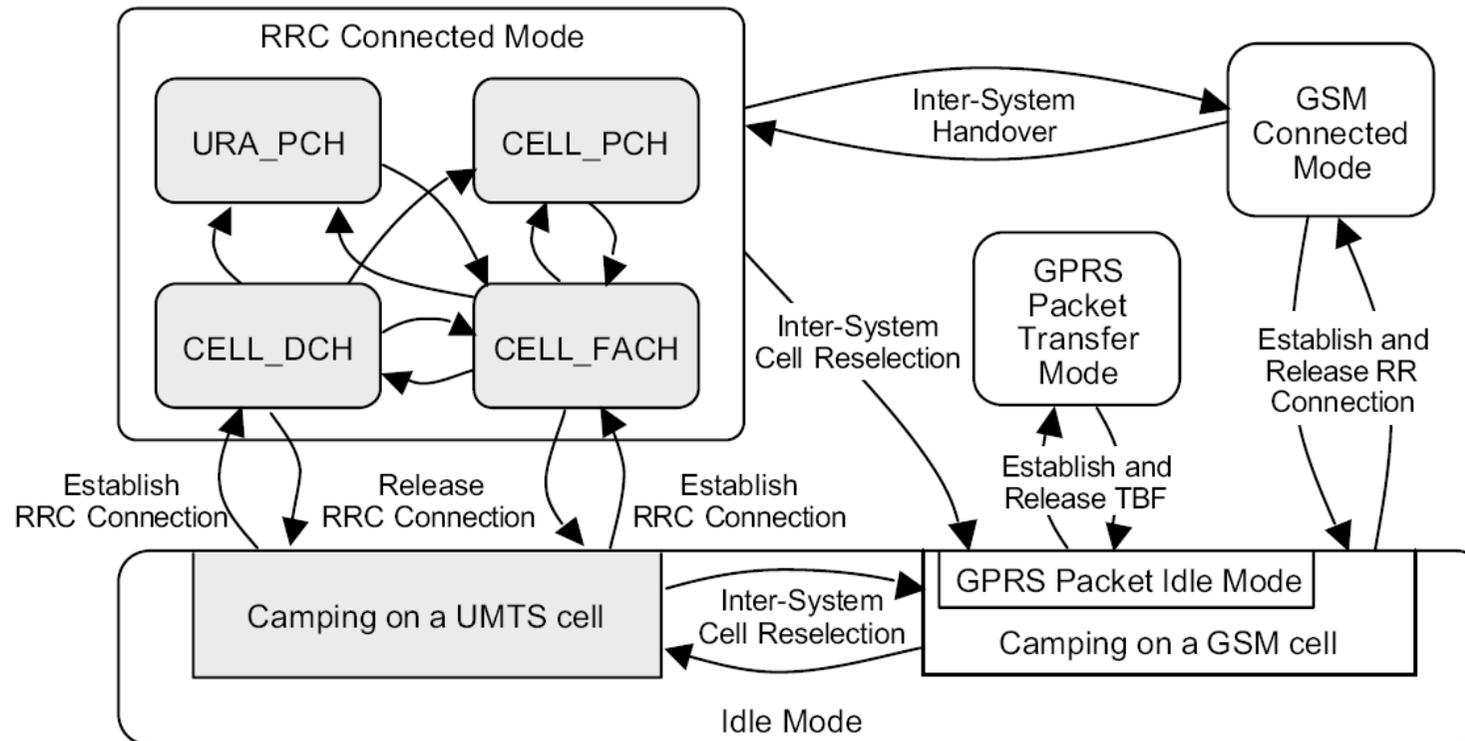


Protocolos en la interfaz radio

- Plano de usuario: protocolos relativos a información de tráfico



Estados de conexión (RRC)



- *RRC Idle mode* (no conectado)
- *RRC Connected mode* (conectado):
 - Hay cuatro: Cell_DCH, Cell_FACH, Cell_PCH, URA_PCH.
 - El “normal” es el Cell_DCH. Los otros son estados “intermedios”: para transferencias pequeñas o para liberar temporalmente parte de los recursos (p. ej. en los tiempos de espera entre descargas).

Estado *Idle*

- El móvil no tiene conexión establecida.
- El móvil debe escuchar los canales de transporte PCH (con DRX e indicación previa en el PICH) y el BCH.
- Hace medidas para posibles reselecciones de célula.
- La red conoce la posición a nivel de LA o RA, porque el móvil envía actualizaciones de posición.
- Los avisos se envían por el canal PCH de la LA o RA.
- Para actualizar la posición o para establecer una comunicación, el móvil debe pasar a Cell_DCH o Cell_FACH.

Estado Cell_DCH

- Es el estado que permite mayores tasas de transferencia.
- Permite conexiones CS y PS.
- El móvil tiene un canal dedicado: canal de transporte DCH (canales físicos DPDCH, DPCCH).
- La red conoce la posición del móvil a nivel de célula.
- Permite traspaso con continuidad.
- Si hay avisos (*paging*), se envían por el DCH.
- Es el que consume más recursos radio. Requiere:
 - Transmitir DPCCH continuamente en los dos sentidos
 - Transmitir DPDCH cuando haya datos (DTX)
 - El móvil debe escuchar el DCH descendente continuamente
 - Recursos reservados en interfaz Iub.

Estado Cell_FACH

- Permite enviar señalización, y tráfico en modo PS.
- No hay canal dedicado.
 - En sentido ascendente se usa el canal de transporte RACH (canal físico PRACH) para transferir datos.
 - En sentido descendente se usa el canal de transporte FACH (canal físico S-CCPCH) para transferir datos.
- La red conoce la posición a nivel de célula, porque el móvil envía actualizaciones de célula (*Cell Update*; normales y periódicas).
- Los avisos se envían por el FACH.
- El móvil debe escuchar:
 - FACH (la base puede transmitir en cualquier momento)
 - BCH (reselección de célula, información de vecinas).

Estado Cell_PCH

- Permite enviar avisos (PCH) descendentes.
- En sentido ascendente el móvil no puede enviar tráfico ni señalización.
- La red conoce la posición a nivel de célula, porque el móvil envía actualizaciones de célula (como en Cell_FACH).
- Para actualizar la célula o para solicitar recursos, el móvil debe pasar a Cell_FACH.
- Los avisos se envían por el canal PCH de una sola célula.
- El móvil debe escuchar:
 - PCH (con DRX e indicación previa en el PICH)
 - BCH.

Estado URA_PCH

- Permite enviar avisos (PCH) descendentes.
- Similar a Cell_PCH excepto que la red conoce la posición a nivel de URA (no de célula). El móvil envía actualizaciones de URA.
- Para actualizar la célula o para solicitar recursos, el móvil debe pasar a Cell_FACH.
- El RNC puede ordenar pasar a URA_PCH desde Cell_PCH, por ejemplo, si el móvil se desplaza muy deprisa.
- Los avisos se envían por el canal PCH de toda la URA.
- El móvil debe escuchar:
 - PCH (con DRX e indicación previa en el PICH)
 - BCH.

Gestión de movilidad

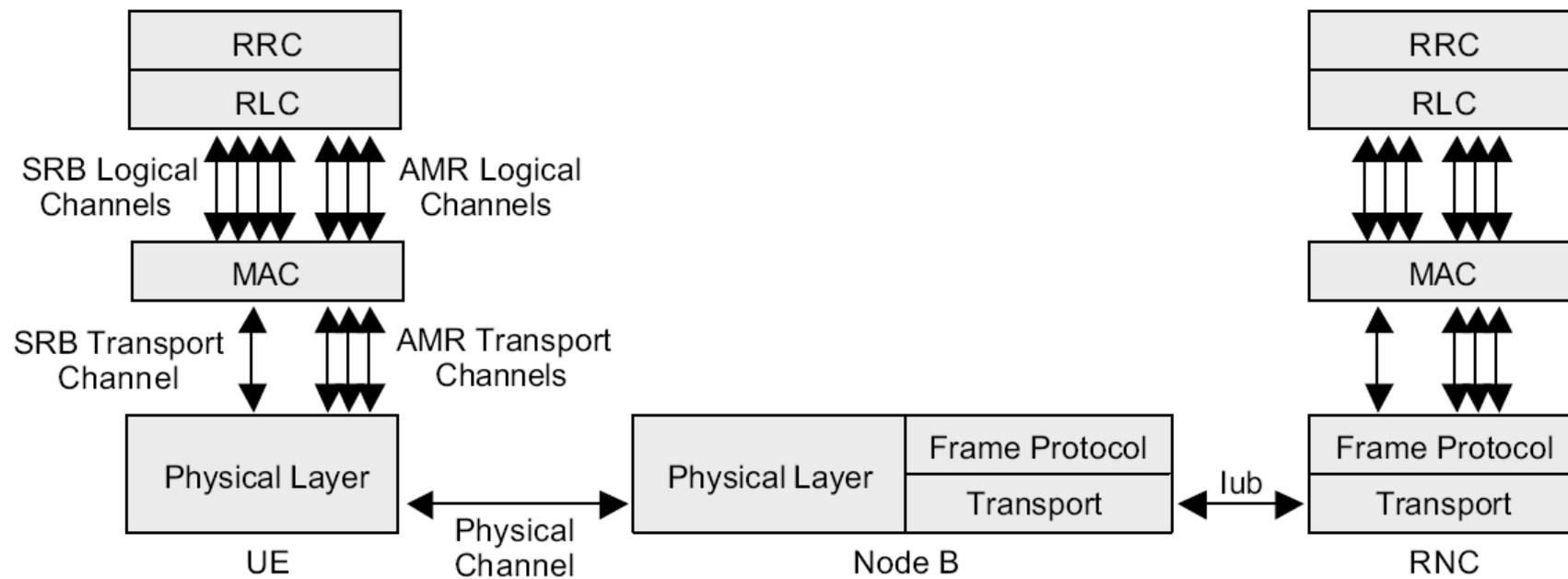
- La movilidad se gestiona por separado en las redes CS y PS.
- Registro:
 - Es opcional (la base indica en el BCH si se usa o no). Suele emplearse.
 - Por separado (*IMSI Attach*, *GPRS Attach*) o combinado (*GPRS/IMSI Attach*).
- Actualización de posición:
 - De LA / de RA / de URA / de célula (en función del estado de conexión en el que esté el móvil).
 - Normal / periódica.
- Reasignación de TMSI y de P-TMSI.
- Autenticación.
- Cifrado.

Servicios

- Gran variedad y flexibilidad
- Voz:
 - Codec AMR (*Adaptive Multirate*): varias tasas entre 4,75 y 12,2 kb/s (seleccionables por la red en función de carga o cobertura); bits con diferentes niveles de protección (clases A, B, C); “tramas” SID para DTX (bits clase A)
 - Código convolucional, entrelazado de 20 ms, CRC
 - Calidad objetivo: BLER = 1–2%
- Videollamada:
 - 64 kb/s
 - Código turbo, entrelazado de 20 ms, CRC
 - Calidad objetivo: BLER = 0,1–0,3%
- Datos en modo circuito, y en modo paquete (HSDPA/HSUPA)
- ...

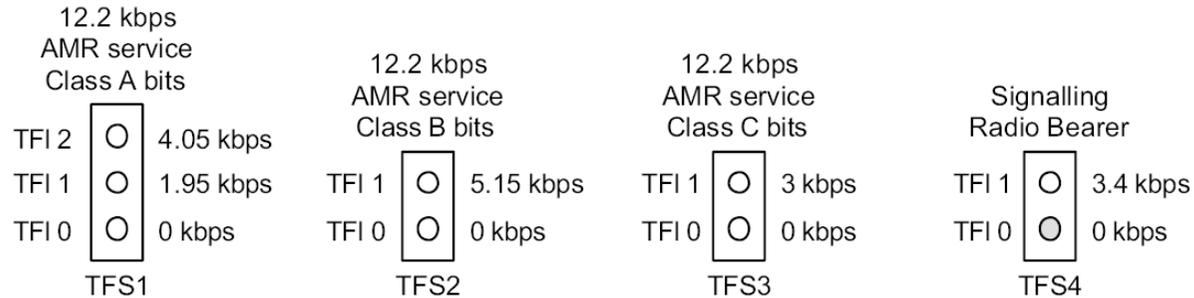
Servicio de voz (AMR)

Canales lógicos y de transporte utilizados

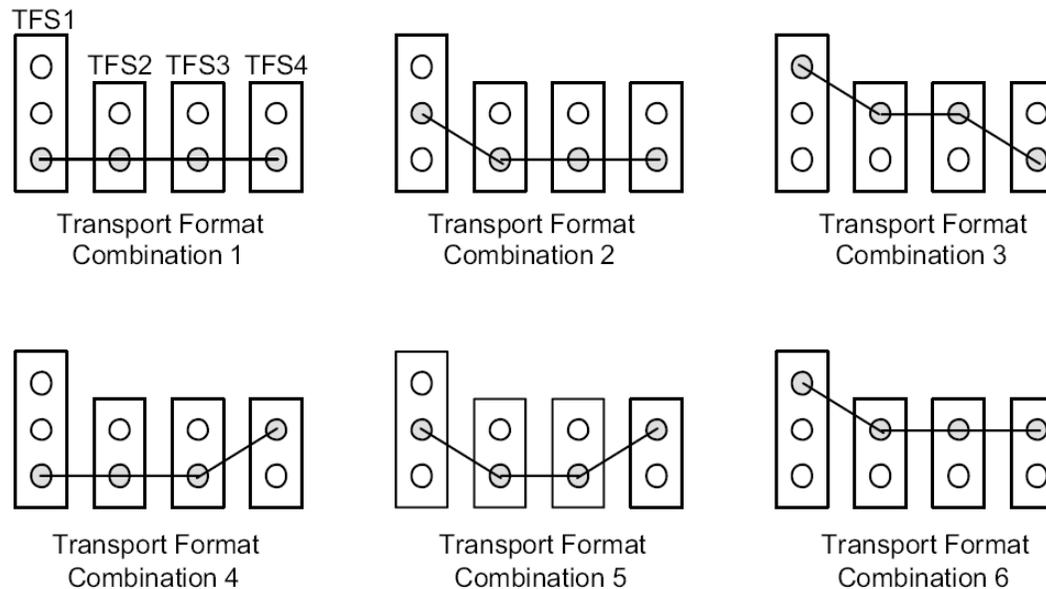


Servicio de voz (AMR)

Conjuntos de formatos de canales de transporte (TFS)



Conjunto de combinaciones de formatos de canales de transporte (TFCS)



7. Capacidad en UMTS

Capacidad en sistemas CDMA: cálculo aproximado

La estimación de capacidad en CDMA es complicada, debido a:

- Relación entre capacidad y cobertura
- Limitación no rígida
- Múltiples servicios.

Puede hacerse un cálculo simplificado, basado en las siguientes hipótesis:

- Enlace ascendente
- Carga uniforme
- Una sola clase de servicio
- Control de potencia ideal sin limitación de potencia transmitida
- Ignora la variabilidad de carga y de propagación.

Los resultados de este cálculo son aproximados (para estimaciones más realistas debe recurrirse a la simulación).

Capacidad en sistemas CDMA: cálculo aproximado

$$\frac{E_B}{N_0} = \frac{W}{R} \frac{S}{S(K-1)\rho\alpha + N_0W} \approx \frac{W}{R} \frac{S}{SK\rho\alpha + N_0W} = \frac{W}{R} \frac{1}{K\rho\alpha + N_0W/S}$$

Despejando S:

$$S = \frac{N_0W}{\frac{W/R}{E_B/N_0} - K\rho\alpha}$$

Cuando $S \gg N_0W$: $K = K_{\max}$:

$$K_{\max} = \frac{W/R}{E_B/N_0 \cdot \rho\alpha}$$

- W : ancho de banda
- R : velocidad binaria
- S : potencia en recepción
- K : número de usuarios por célula o sector
- ρ : eficiencia de reutilización:
(Interf. externa) / (Interf. interna) + 1
- α : factor de actividad
- E_B/N_0 : energía de bit / densidad de ruido+interferencia

Capacidad en sistemas CDMA: cálculo aproximado

$$S = \frac{E_B / N_0}{W / R} \frac{N_0 W}{1 - K / K_{m\acute{a}x}} = \frac{E_B / N_0}{W / R} N_0 W \eta$$

$$\eta = \frac{1}{1 - K / K_{m\acute{a}x}} = \frac{\text{ruido + interferencia}}{\text{ruido}} \quad \text{: incremento de ruido (noise rise)}$$

$$X = K / K_{m\acute{a}x} = \frac{\text{interferencia}}{\text{ruido + interferencia}} \quad \text{: factor de carga (load factor)}$$

Los cálculos son aplicables a una célula en el caso de células omnidireccionales, o a un sector en el caso de células sectorizadas.

Control de admisión

- El control de admisión es la funcionalidad de la red que decide si puede aceptarse o no una nueva conexión.
- Se utiliza debido a que la limitación de capacidad no es rígida.
- Suele residir en el RNC.
- La decisión depende de:
 - **Nivel de interferencia** en **UL** (promedio temporal; margen para fluctuaciones)
 - **Potencia disponible** en **DL** (promedio temporal; margen)
 - Disponibilidad de **códigos OVSF** en DL
 - Capacidad disponible en interfaz Iub, en UL y DL.

Control de carga

- El control de carga es la funcionalidad de la red que actúa si se produce, o está próxima a producirse, una sobrecarga.
- La sobrecarga puede ser:
 - Incremento de la **interferencia recibida** en la base (**UL**) por encima del valor máximo admisible.
 - Incremento de la **potencia de transmisión** en la base (**DL**) por encima del valor máximo admisible.
- Se produce por variaciones impredecibles (aleatorias) en las condiciones de cada enlace.
- Posibles actuaciones:
 - No atender TPC que soliciten subir la potencia (DL)
 - Reducir SIR objetivo, de ciertas conexiones (UL)
 - Traspasos inter-frecuencia o inter-sistema (UL, DL)
 - Reducir tasa binaria (*throughput*) de conexiones PS (UL, DL)
 - Reducir tasa binaria de ciertas conexiones CS, p.ej. AMR (UL, DL)
 - Cortar conexiones de forma selectiva (UL, DL).

8. Planificación.

Caracterización del enlace radio.
Balances de enlace.

Planificación radio

- Planificación de sistemas clásicos: dos aspectos “independientes”:
 - (a) Balance de enlace: **cobertura**
 - (b) Análisis de tráfico y dimensionamiento: **capacidad**.
- Planificación de sistemas CDMA: más compleja, debido a:
 - Limitación por interferencia \Rightarrow (a) y (b) no independientes
 - Multiplicidad de servicios, conmutación de paquetes, servicios asimétricos

Los métodos “clásicos” únicamente proporcionan resultados aproximados.

Es necesario recurrir a la simulación para evaluar de forma realista el comportamiento del sistema.

Planificación radio en UMTS: etapas

1. Planificación aproximada

- **Balances de enlace** (→ atenuación compensable)
- Limitaciones: hipótesis y simplificaciones
- Cálculo de capacidad aproximado
- Relación cobertura-capacidad aproximada mediante factores de carga

2. Planificación detallada

- **Simulación** (→ prestaciones de la red)
- Elimina limitaciones de la planificación aproximada
- Resultados más exactos
- Necesidad de *software* específico

Caracterización del enlace radio

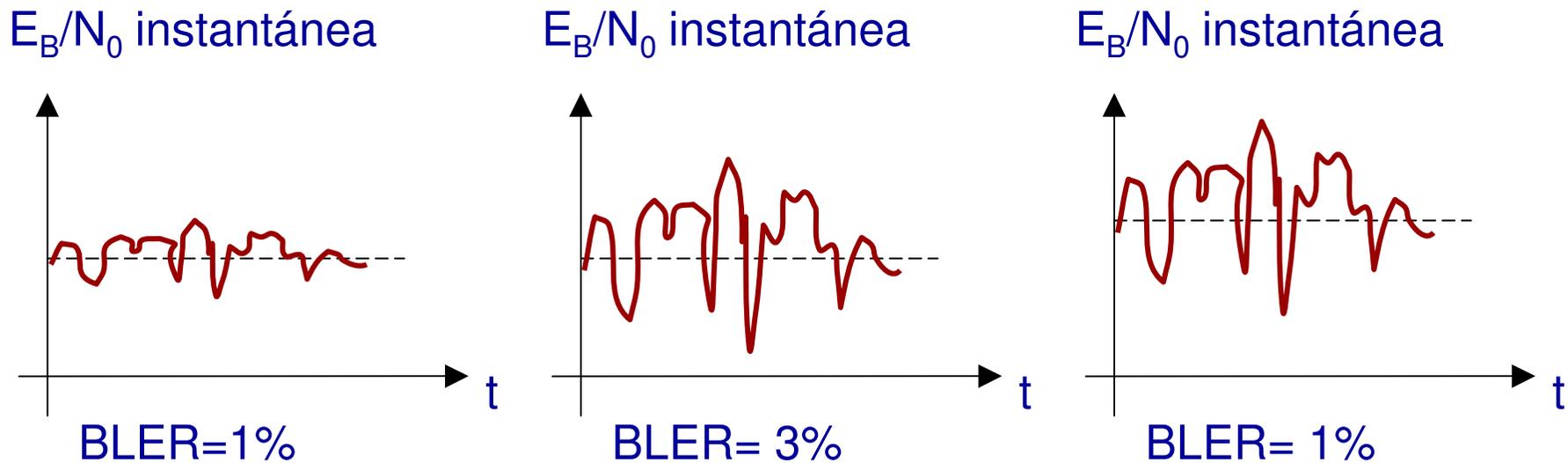
Tanto en la etapa de planificación aproximada como en la de planificación detallada es necesario caracterizar adecuadamente el enlace radio.

La caracterización se hace por medio de un conjunto de parámetros:

- Relación E_B/N_0 necesaria
 - Margen de potencia
 - Incremento de potencia transmitida
 - Ganancia por traspaso con continuidad
- } Parámetros relacionados con el bucle interno

Relación E_0/N_0 necesaria

Cuanto mayores sean las variaciones de E_B/N_0 instantánea, mayor E_B/N_0 media se necesita.



Relación E_0/N_0 necesaria

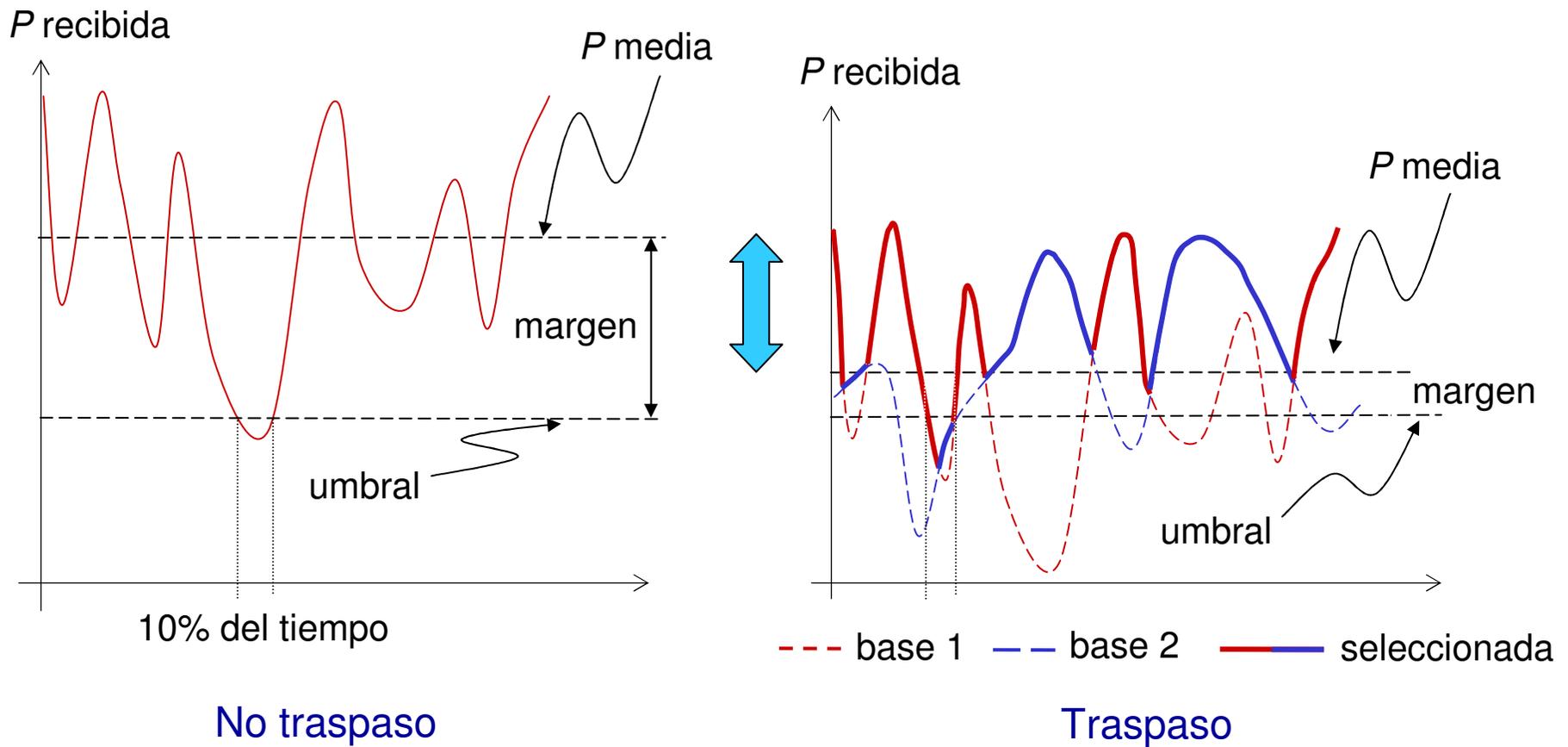
- El valor de la E_B/N_0 necesaria depende de:
 - Objetivo de calidad (por ejemplo, FER)
 - Condiciones de propagación
- Es necesario simular (o medir) cada conjunto de
 - condiciones de propagación
 - servicio portador
 - ...

para conocer la E_B/N_0 necesaria en cada caso.

- El valor de E_B/N_0 necesaria cambia cuando el móvil se encuentra en situación de traspaso con continuidad:
ganancia por traspaso.

Ganancia por traspaso frente a desvanecimiento por sombra

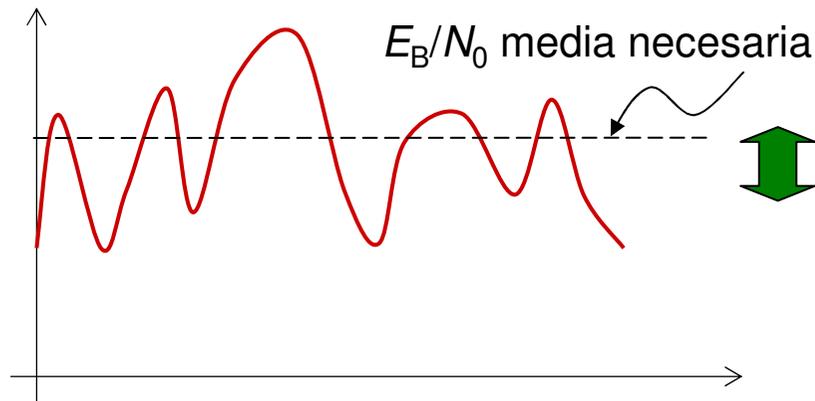
- Es una reducción del margen log-normal necesario
- Se produce porque hay diversidad respecto al desvanecimiento por sombra



Ganancia por traspaso frente a desvanecimiento multitrayecto

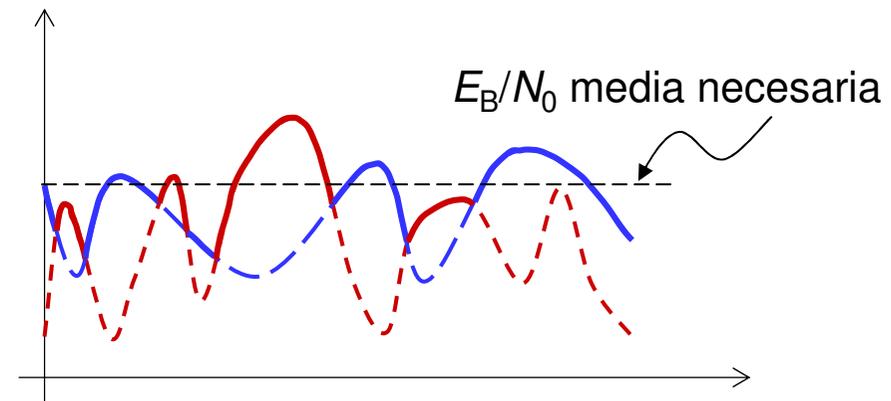
- Es una reducción de la E_B/N_0 necesaria
- Se produce porque hay diversidad respecto al desvanecimiento multitrayecto residual (no compensado por el bucle interno)

E_B/N_0 instantánea



No traspaso

E_B/N_0 instantánea



--- base 1 - - - base 2 — seleccionada

Traspaso

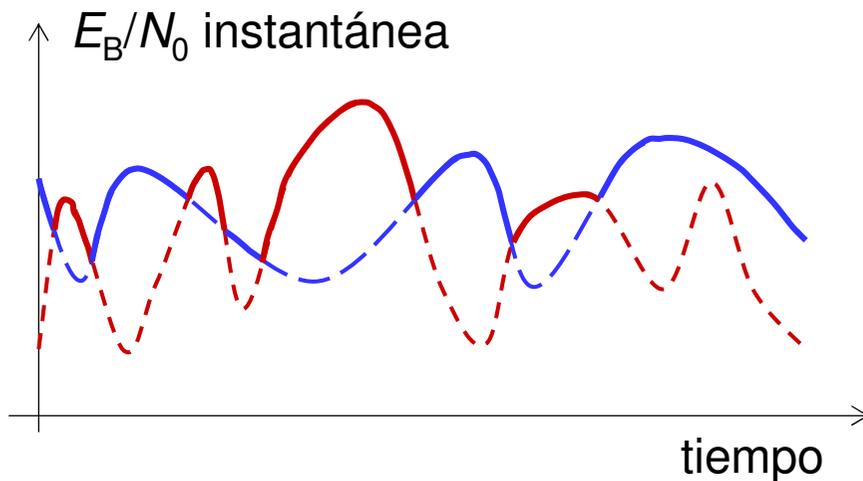
Ganancia por traspaso frente a desvanecimiento multitrayecto

Depende de

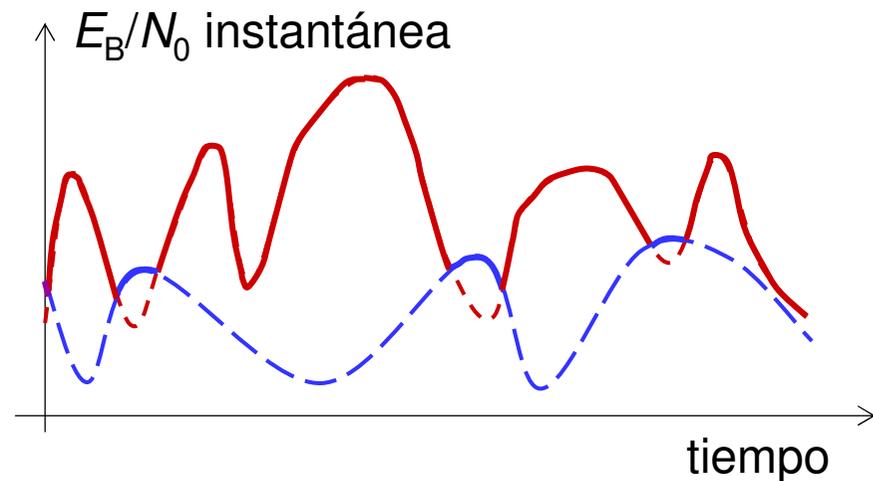
- Variabilidad en las E_B/N_0 instantáneas.
- Nivel relativo de las E_B/N_0 (medias) en las bases

Valores típicos: 0-3 dB.

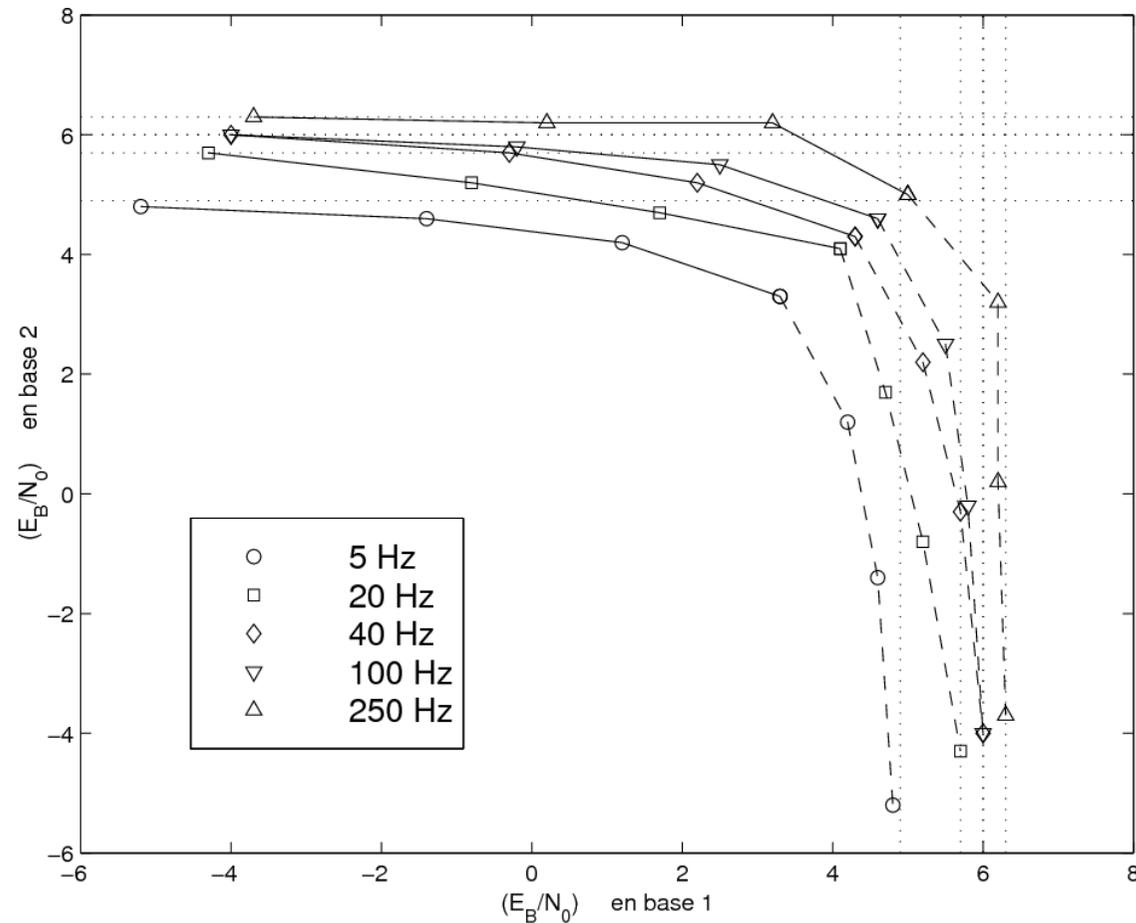
Niveles similares: ganancia grande



Niveles dispares: ganancia pequeña

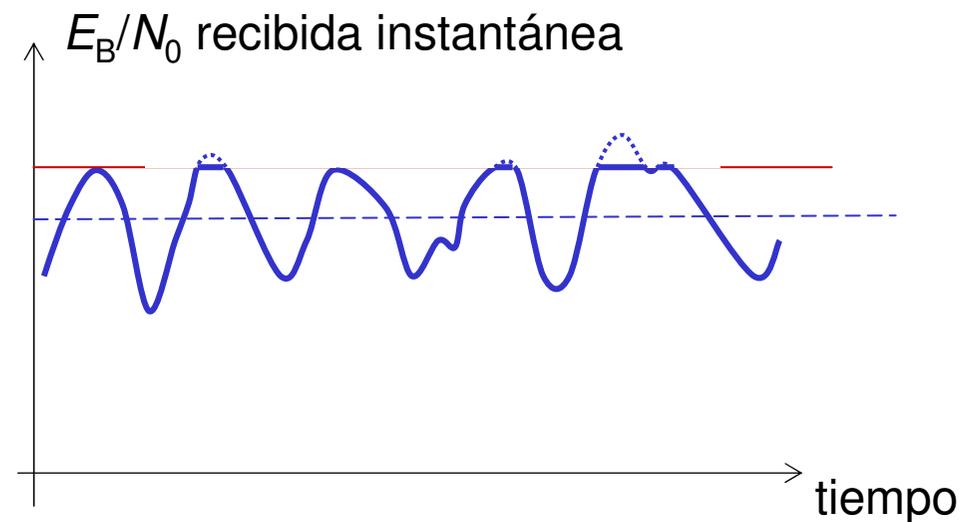
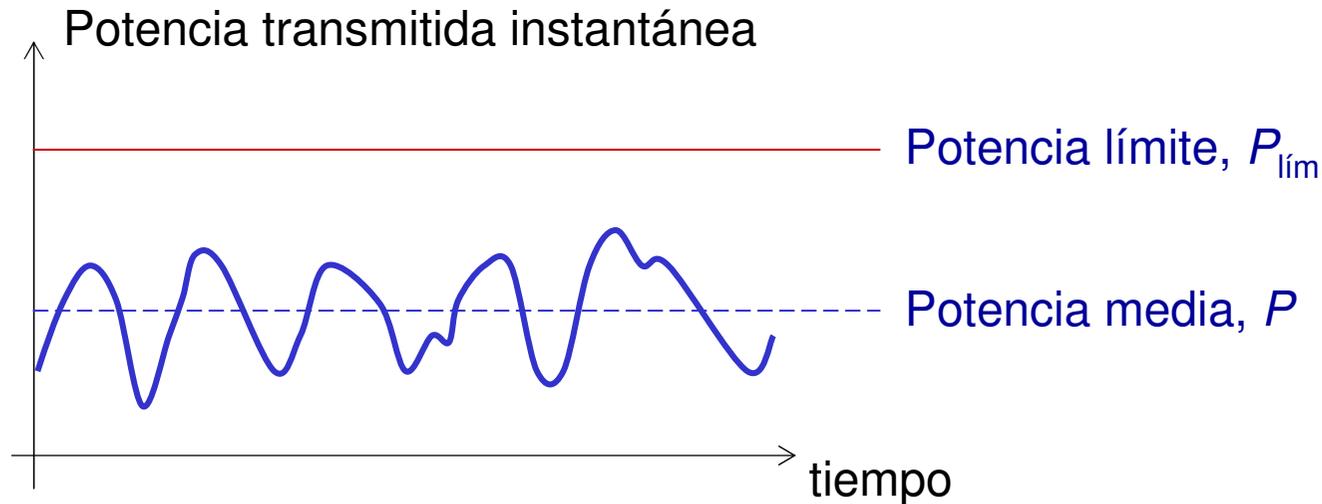


Ejemplo de ganancia por traspaso



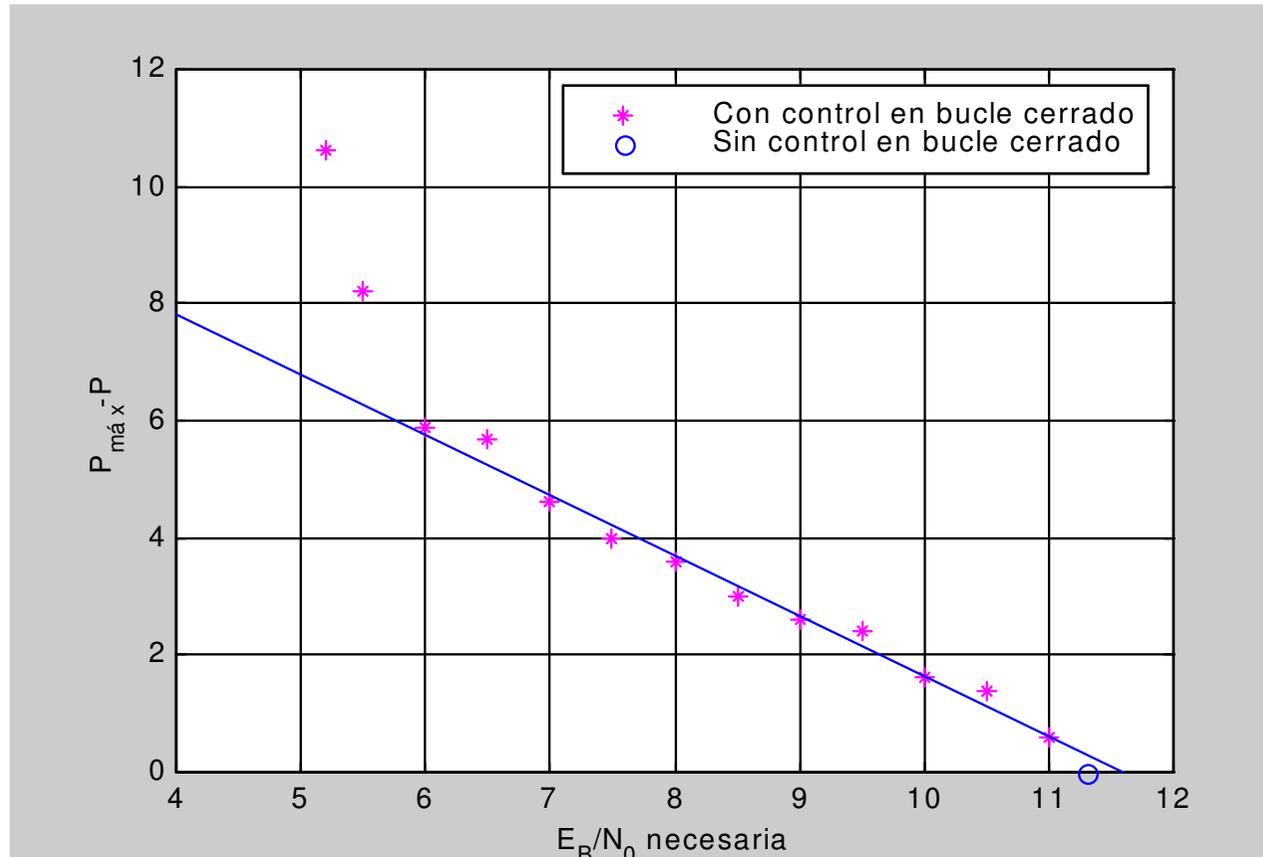
Canal multitrayecto “*Pedestrian A*”
Calidad objetivo: $BER = 10^{-3}$.

Margen de potencia



Potencia limitada \Rightarrow
 E_B/N_0 instantánea más variable \Rightarrow
degradación de calidad \Rightarrow
se requiere mayor E_B/N_0 media

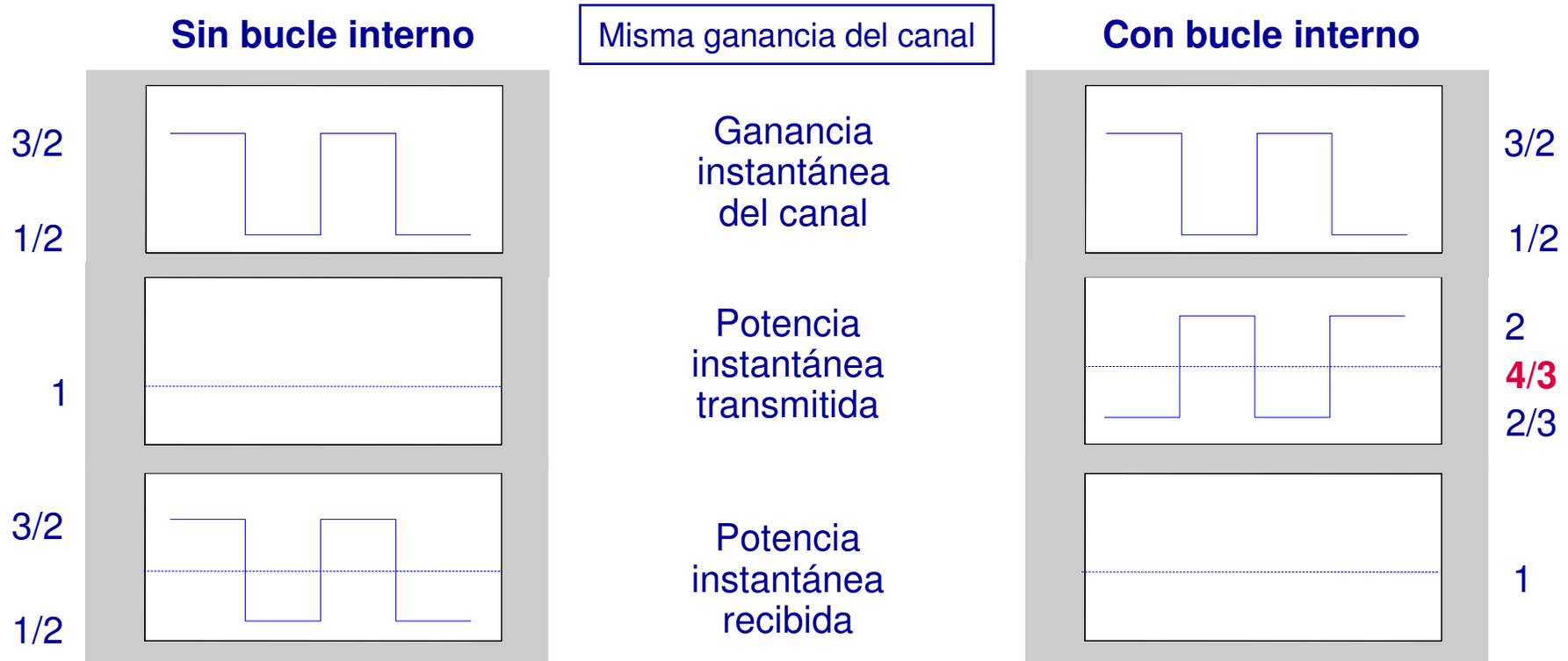
Margen de potencia: ejemplo



Margen de potencia

- El margen necesario depende de la variabilidad de la potencia instantánea: es mayor para
 - Móviles lentos
 - Canales con poca dispersión de retardo (mayores variaciones por desvanecimiento multitrayecto).
- Valores típicos: 0-8 dB.
- Para móviles en traspaso, el margen de potencia presenta también una **ganancia (variación) por traspaso**: el margen necesario es menor. El grado de ganancia depende de los niveles relativos en las bases.

Incremento de potencia (ejemplo simplificado)



- Uso de bucle interno de control de potencia \Rightarrow incremento de potencia media transmitida para lograr una misma E_B/N_0 media.
- Producido por la correlación (negativa) entre atenuación instantánea y potencia transmitida instantánea.
- La potencia adicional se invierte en reducir las variaciones de E_B/N_0 instantánea.

Incremento de potencia

- Depende de lo efectivo que sea el bucle interno: es mayor para
 - Móviles lentos
 - Canales con poca dispersión de retardo.
- Valores típicos: 0-2 dB.
- Para móviles en traspaso, el incremento de potencia presenta también una **ganancia (variación) por traspaso**: el incremento de potencia es menor. El grado de ganancia depende de los niveles relativos en las bases.

Planificación aproximada (balances de enlace)

No tiene en cuenta de manera realista:

- Variación aleatoria de carga
- Interferencia de las demás células
- Variaciones en la E_B/N_0 necesaria
- Combinación de servicios
- Enlace descendente: dificultades:
 - El factor de reutilización depende de la posición del móvil
 - El factor de carga deja de tener sentido
 - La potencia transmitida no se reparte por igual entre los móviles activos, sino que depende de sus distancias.

Planificación aproximada (balances de enlace)

Valores usuales considerados:

- Margen de potencia, incremento de potencia, ganancia (E_B/N_0) por traspaso: valores indicados anteriormente.
- Factor de carga: 50% – 75%.

El factor de carga considerado incluye un margen por fluctuaciones aleatorias de la interferencia.
- Eficiencia de reutilización: 1,3 – 1,7.

Menor en microcélulas que en macrocélulas, por el apantallamiento que producen los edificios
- Factor de ruido en la base: 2 dB – 5 dB.

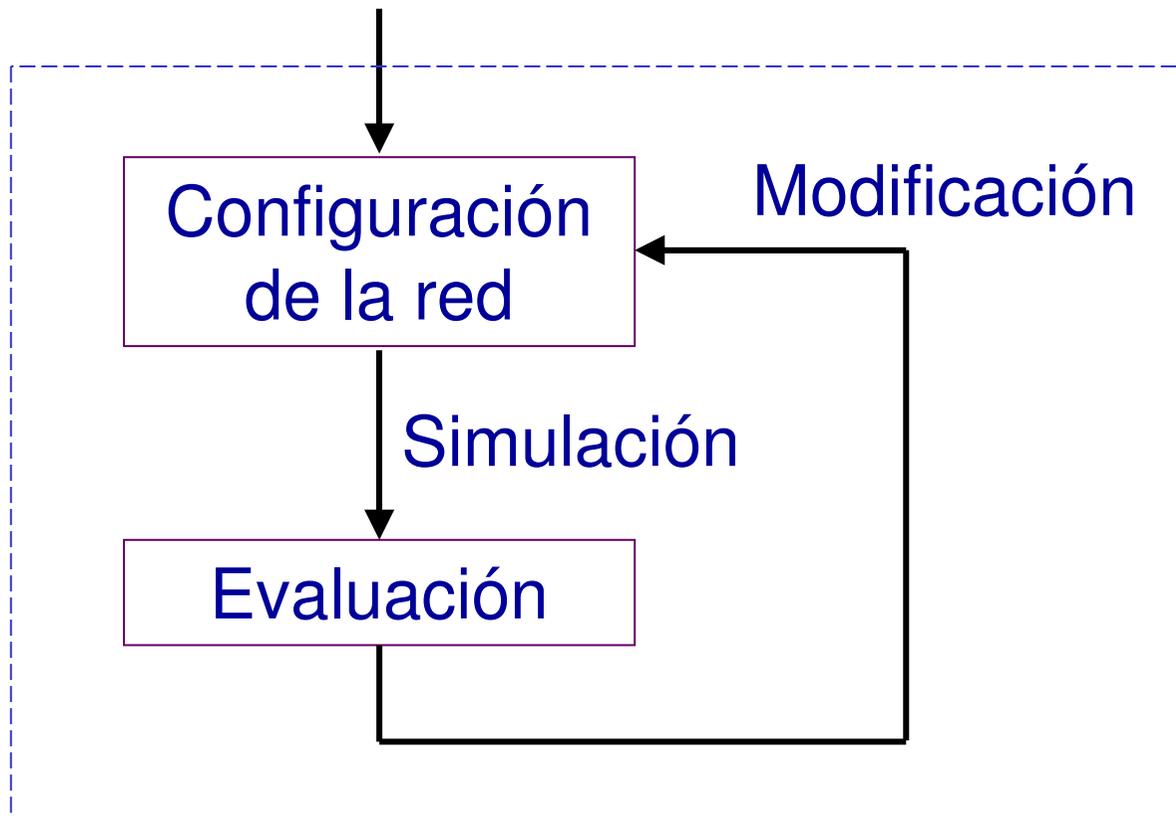
Los valores más bajos (en torno a 2 dB) se consiguen con amplificadores de bajo ruido, instalados en la torre, próximos a la antena.

Balance de enlace: sentido ascendente

	Parámetro	Enlace ascendente	Relación
A	Régimen binario (bit/s)	12200	
B	Potencia de pico (dBm)	24	
C	Margen de potencia (dB)	5	
D	Potencia (media) máxima (dB)	19	B-C
E	Ganancia de antena TX (dBi)	0	
F	Pérdidas en transmisor (dB)	2	
G	PIRE	17	D+E-F
H	Ganancia de antena receptora (dBi)	18	
I	Pérdidas en receptor (dB)	2,5	
J	Factor de ruido (dB)	2	
K	Densidad de ruido (dBm/Hz)	-172	-174+J
L	Factor de carga (%)	50	
M	Incremento de ruido (dB)	3	-10log(1-L/100)
N	Relación EB/N0 (media) necesaria (dB)	5,6	
P	Sensibilidad (dBm)	-126,5	N+K+M+10log(A)-T-U
Q	Incremento de potencia (dB)	2	
R	Margen log-normal (dB)	10,2	En función de σ
S	Ganancia por SHO respecto a desv. por sombra (dB)	4	
T	Ganancia por SHO respecto a desv. multitrayecto (dB)	2	
U	Ganancia por diversidad de recepción (dB)	2	
V	Pérdidas por penetración en interiores (dB)	15	
W	Atenuación compensable (dB)	135,8	G+H-I-P-Q-R+S-V
a	Factor de actividad	0,5	
b	Eficiencia de reutilización	1,6	
c	Ancho de banda (Hz)	4,00E+06	
d	Capacidad asintótica	114	$c/A/10^{(N/10)}/a/b$
e	Usuarios por célula/sector	57	$d*L/100$

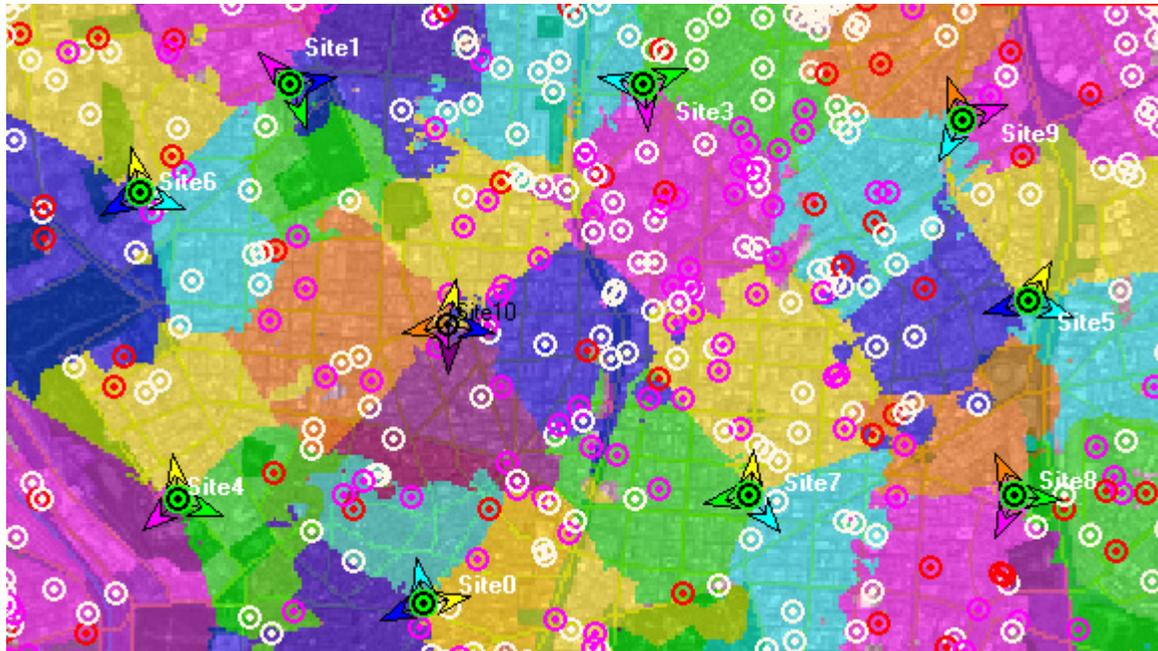
Planificación mediante simulación

1. Planificación aproximada



2. Planificación detallada

Ejemplos de resultados de simulación



Usuarios simulados en una realización concreta, coloreados según su estado de conexión o causa de rechazo

Display type:		Field:	
Discrete values		Connection status	
		Value	Legend
1		$P_{mob} > P_{mobMax}$	$P_{mob} > P_{mobMax}$
2		$P_{tch} > P_{tchMax}$	$P_{tch} > P_{tchMax}$
3		load saturation	load saturation
4		Ch. EIts saturation	Ch. EIts saturation
5		Cell power saturation	Cell power saturation
6		Code saturation	Code saturation
7		$E_c/I_o < (E_c/I_o)_{min}$	$E_c/I_o < (E_c/I_o)_{min}$

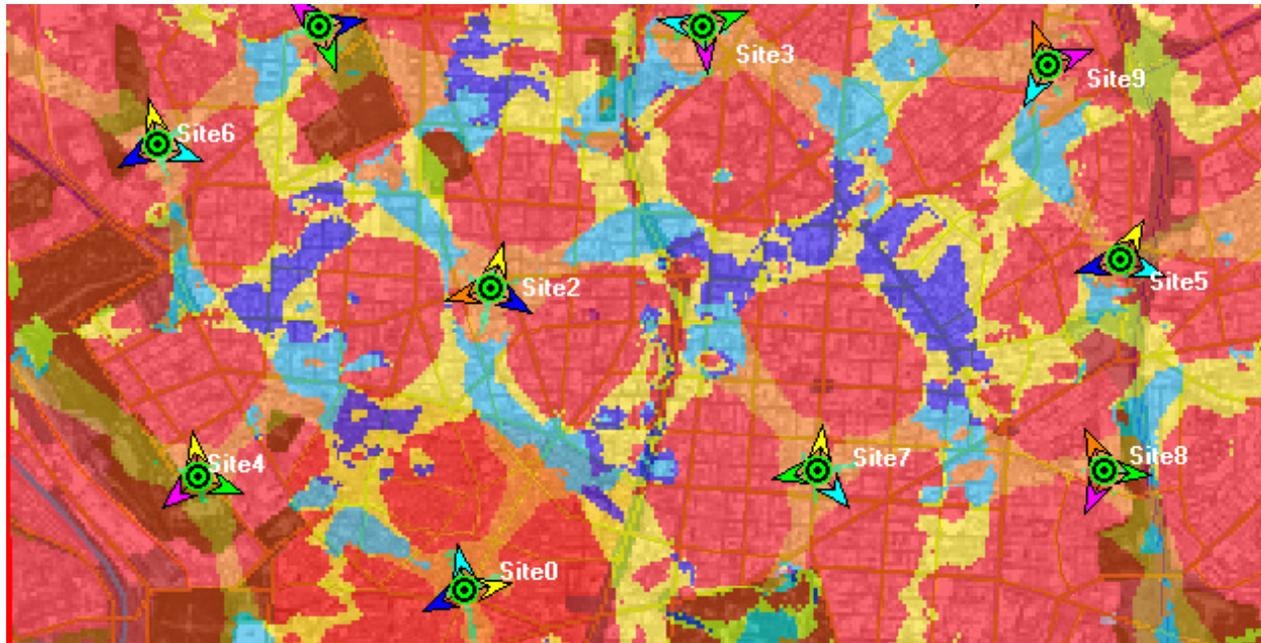
Ejemplos de resultados de simulación



“Polución” del canal piloto (basada en la carga de tráfico obtenida en la simulación)

Red	4	Number of polluters $\gamma=4$
Yellow	3	Number of polluters $\gamma=3$
Green	2	Number of polluters $\gamma=2$
Blue	1	Number of polluters $\gamma=1$

Ejemplos de resultados de simulación



Zonas de traspaso (basadas en la carga de tráfico obtenida en la simulación; tamaño máximo del conjunto activo 3)

Red	No Handoff	No Handoff
Orange	Softer	Softer
Yellow	Soft	Soft
Green	Softer-Softer	Softer-Softer
Cyan	Softer-Soft	Softer-Soft
Blue	Soft-Soft	Soft-Soft