

8 Limitaciones HSDPA y evolución

En este capítulo introduciremos las desventajas y limitaciones que supone la utilización de un sistema HSDPA y las futuras mejoras posibles recogidas por el 3GPP para su implementación.

8.1 Desventajas por el uso de HSDPA

A continuación detallamos aquellos aspectos negativos a tener en cuenta cuando se hace uso de la funcionalidad HSDPA:

- **Potencia de procesamiento más alta en el terminal**

Un incremento de las tasas de transferencia en el enlace descendente requiere que los procesadores de los terminales y sus DSPs estén diseñados de acuerdo a su nueva realidad. El consumo de batería será más alto también. Esta limitación supone el mayor reto que deben afrontar los fabricantes de terminales hoy en día.

- **Más memoria en los terminales debido a HARQ**

HARQ hace uso de todas las transmisiones previas en lugar de considerar un único paquete de datos. En caso de redundancia incremental, el terminal debe almacenar los bloques de datos transmitidos previamente a la combinación de los *soft bits*, porque cada bloque debe ser procesado por separado, pues contiene información de redundancia adicional diferente y que se va incrementando con cada retransmisión. En contraposición a ésta, la técnica de *chase combining* permite al terminal realizar la decisión de combinación de los *soft bits* inmediatamente después de recibir cada retransmisión sin necesidad de almacenarla, ya que todas las versiones transmitidas son iguales, reduciendo así las necesidades de memoria. La primera técnica necesita la máxima capacidad de memoria. Como ya adelantamos, la memoria por defecto del terminal se configura para soportar *chase combining* y para que sea capaz de obtener su máxima tasa de transferencia. De este modo, con la máxima tasa de transferencia, únicamente se puede aplicar *chase combining*, mientras que con transferencias de datos menores, ambas son aplicables. La categoría reportada por el terminal indica al RNC el número total de *soft channel bits* que pueden limitar el funcionamiento de la técnica de redundancia incremental si se llegan a picos de tasas binarias.

- **Receptor Avanzado para 16 QAM**

Con *QPSK* únicamente se necesita una estimación de fase para la demodulación de la señal. Sin embargo, con *16QAM* adicionalmente se necesita una estimación de amplitud para separar los puntos de constelación en el plano I-Q. Además, se necesita una información de fase más precisa, ya que los puntos de la constelación tienen menor espacio de decisión en el dominio de la fase que *QPSK*.

- **Mayor vulnerabilidad si usamos 16QAM**

Para picos de tasas de datos usando *16QAM* es imprescindible tener valores de E_c/N_0 mayores y eso hace más vulnerable al canal HS-DSCH ante interferencias, incluyendo interferencia entre símbolos. Como *16QAM* necesita tanto la fase como la amplitud para determinar el valor del símbolo, las distorsiones de amplitud tienen un gran impacto, hecho que no ocurre en *QPSK*, ya que únicamente se considera la fase. A parte de esto, las transmisiones con modulación *16QAM* necesitan mejorar la linealidad del amplificador de potencia en términos de EVM (*Error Vector Magnitude*).

- **Actualización de SW y posiblemente HW en la Red UTRAN**

Dependiendo del suministrador de Red UTRAN, podría ser necesaria la actualización de HW para los Nodos B. Lo que sí es seguro es que se necesita actualizar el SW tanto de los Nodos B como del RNC.

- **No existe ganancia por diversidad macro en HS-PDSCH y HS-SCCH**

Como los canales físicos radio HS-PDSCH y HS-SCCH son canales compartidos, no es posible el *soft handover*, lo cual reduce la ganancia por macro-diversidad. Este hecho se acentúa en las fronteras de cobertura de la celda. De todos modos, los procedimientos de movilidad de cambio de celda entre Nodos B o dentro del propio Nodo B ayudan a atenuar esta desventaja.

- **Incremento de Potencia/Interferencia en DL y UL**

El funcionamiento de HSDPA puede necesitar del uso de potencias de transmisión altas en el DL para operar a niveles de BLER razonables (considerando la primera transmisión) y puede, en consecuencia, incrementar la interferencia entre celdas. Especialmente en el borde de la celda, HSDPA es únicamente fiable si los niveles de potencia de transmisión en DL para los canales HS-SCCH y HS-PDSCH son altos. Resaltar que la cantidad de canales HS-SCCHs incrementa si existe multiplexación de códigos de canalización (de canales HS-PDSCHs), lo cual puede añadir considerablemente más interferencia en el DL cuando los usuarios se encuentran en condiciones radio desfavorables.

En UL, el canal físico HS-DPCCH puede incrementar la interferencia si operan al máximo de potencia. La decodificación apropiada de este canal radio es por una parte

necesaria para evitar retransmisiones indeseadas, pero por otra parte una excesiva potencia de transmisión en UL incrementa la interferencia entre varios usuarios.

- **Sobrecarga de señalización provocados por HS-SCCH y HS-DPCCH**

La señalización necesaria para soportar el canal de transporte HS-DSCH. HS-SCCH en el DL y HS-PDCCH en UL, consume valiosos recursos de códigos de canalización. En DL se necesita un código de canalización con un factor de ensanchamiento de 128 por canal HS-SCCH y el UL un código de factor 256 por canal HS-PDCCH, por terminal. Por supuesto, el consume de códigos de canalización en UL es despreciable, ya que cada terminal tiene su código de ensanchamiento (*Scrambling Code*) dedicado, de modo que no hay casi limitaciones de recursos. Sin embargo, en DL cada HS-SCCH ocupa un código con un SF=128, el cual es similar al utilizado en una conversación de voz codificada en AMR 12,2 kbps.

8.2 Evolución de las redes Móviles (Mejoras al HSDPA)

La evolución natural de las redes móviles con HSDPA es claramente mejorar por un lado la tasa de datos en el enlace ascendente que no se toca con la introducción de HSDPA y por otro el seguir aumentando las tasas de datos y disminuir la latencia de red. Para el primer punto se describe a continuación el sistema HSUPA (High Speed UL Packet Access), que combinado en una red con HSDPA, nos daría lo que se conoce como red HSPA recogido por el 3GPP como Release 6.

Tras esto se describe la evolución de las redes móviles al mundo IP con la llegada de LTE o UTRAN evolucionado.

8.2.1 HSUPA

HSDPA únicamente ofrece una mayor tasa de transferencia en el enlace descendente. De ahí la necesidad de desarrollar técnicas que aumenten también la tasa en el enlace ascendente. El objetivo de esta nueva técnica, *High Speed Uplink Packet Access*, desarrollada en la Release 6 del 3GPP (R6), es mejorar el rendimiento y operación del canal radio DCH en el enlace ascendente, usando varias técnicas para soportar servicios como video-clips, multimedia, correo electrónico, juegos online y video-streaming. Un estudio llevado a cabo por el 3GPP reveló que técnicas tales como la programación de accesibilidad controlada por el Nodo B, el decremento del *TTI* y HARQ implementado en el Nodo B pueden mejorar significativamente el rendimiento de la transferencia de

paquetes en UL comparado con las técnicas utilizadas en R'99, R4 y R5. De este modo, se consigue incrementar la capacidad del interfaz aire en el enlace ascendente y mejorar la experiencia del usuario final, incrementando tanto la tasa de transferencia en la celda como la cobertura de zonas donde el usuario puede obtener tasas elevadas de transferencia en el UL.

Existen diferencias fundamentales entre la transmisión de datos en DL y UL, haciendo imposible la introducción de las soluciones aplicadas en la funcionalidad HSDPA en enlace ascendente. Veamos algunas de ellas:

- **Potencia total de Transmisión disponible**

La diferencia clave entre el UL y el DL es el control o manejo de la potencia total de transmisión disponible. En DL, la potencia está centralizada, mientras que en el UL la potencia disponible para cada terminal está limitada por el amplificador del mismo. De modo que se puede decir que, estando en una zona donde la tasa de datos en HSDPA sea máxima, en UL no funcionaría del mismo modo.

- **Control de Potencia en UL mucho más dinámico**

En el enlace ascendente el control de potencia presenta una dinámica mayor comparada con el enlace descendente.

- **Necesidad de *Fast Power Control* en UL**

Debido al problema cerca-lejos no es posible prescindir del control de potencia en UL en caso de transmisión continua. En el ejemplo de abajo, los tres terminales usan códigos SC distintos dentro de la misma frecuencia. Los terminales 2 y 3 están en el borde de la celda y podrían ser interferidos por el terminal 1 de manera que el Nodo B no sea capaz de decodificarlos. Si no hay control de potencia, el terminal 1 puede bloquear gran parte de la celda.

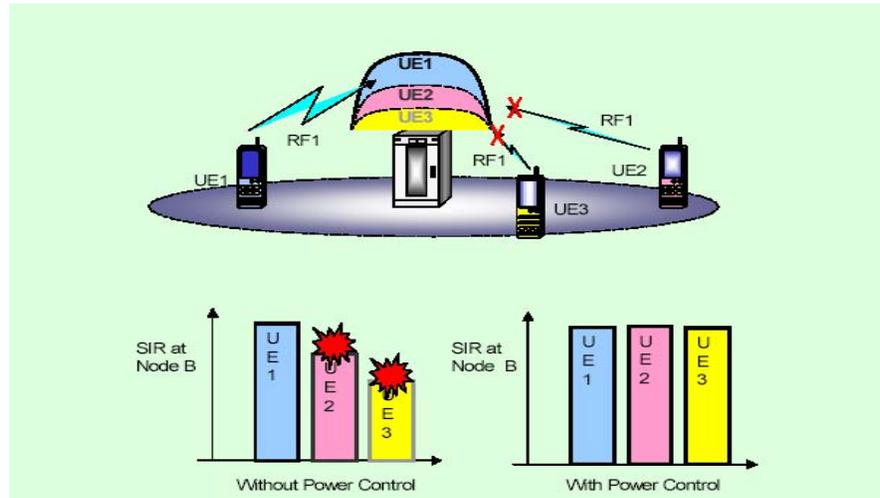


Figura 1 Fast Power Control en UL

- **Dificultad en el terminal para conseguir modulación radio de orden alto**

Se ha experimentado con modulaciones como 8-PSK en el enlace ascendente en comparación con la transmisión multi-código moduladas con técnicas de menor orden, como el BPSK. Se ha demostrado que la primera causa una degradación de la capacidad del interfaz radio, ya que las modulaciones de orden superior requieren de transmisores muy lineales que dificultan su implementación en el terminal. Parece que la tendencia es, por el momento, descartar el uso de técnicas de modulación de orden alto para no encarecer el terminal.

8.2.1.1 Técnicas utilizadas en HSUPA

Cuando se han aplicado simultáneamente las técnicas de Programación en el Nodo B, HARQ con combinación de *soft bits* y un decremento del *TTI* para la implementación del HSUPA se ha obtenido una mejora significativa comparada con la R5. Hablamos de un incremento en la capacidad del sistema del 50-70%, un 20-55% de reducción del retraso percibido por el usuario en una llamada de paquetes y alrededor del 50% de incremento en la tasa de transferencia de datos.

Pasemos a describir las técnicas sobre las que se basa HSUPA.

8.2.1.1.1 Programación de paquetes rápida y controlada por el Nodo B

Con programación de acceso a recursos del Nivel Físico localizado en el Nodo B, el periodo de programación puede ser más corto, gracias a que la información de medidas

reportadas por los terminales informando sobre el estado del Nivel Físico puede estar disponible en el Nodo B de una manera más fácil y rápida. Esas medidas son la base para que el Nodo B decida sobre la programación de accesibilidad a los recursos por parte de los terminales, de una forma más actualizada, optimizando así el uso de la capacidad del interfaz aire en el enlace ascendente. La reducción del periodo de programación permite un control mucho más dinámico de la capacidad del interfaz aire. Así, cuando un terminal pare de transmitir o reduzca su tasa de transferencia, la capacidad liberada puede ser asignada rápida y eficientemente a otros usuarios.

Si pensamos un poco en las limitaciones que presenta la programación de transmisión o *scheduling* de paquetes en el UL establecida en la R'99, podemos adivinar cuáles son los puntos de mejora. Por una parte, se advierte que todo el proceso es controlado por el RNC, lo que redundante en *TTI* más largos, mayores retrasos y sobrecarga de señalización en el interfaz Iub. Además, los recursos asignados al terminal se proporcionan bajo demanda, a través de los eventos 4A/4B reportados en el mensaje *RRC Measurement Report*. La asignación de recursos se realiza dependiendo de la potencia de recepción. Es una asignación conservadora para prevenir sobrecarga en la celda, lo cual evita que la capacidad de la celda se pueda aprovechar de forma eficiente.

En HSUPA hablamos de una programación rápida o *fast scheduling*. En primer lugar, todo el proceso es controlado por el Nodo B, de manera que podemos definir *TTI* más cortos, reduciendo el retraso y permitiendo que la Red pueda tomar las decisiones de forma más rápida, lo que permite aprovechar los recursos UL eficientemente. La decisión de asignación de recursos en la programación o *scheduling* se hace en base a la carga actual de la capa física de la celda (disponible en el Nodo B), lo cual permite aprovechar la capacidad de la celda de forma eficiente, situándolo al borde de la sobrecarga. Por último, la asignación de recursos no es bajo demanda, sino bajo peticiones de programación o *scheduling* realizadas por el terminal. El único pero que encierra este proceso es el coste de señalización en el interfaz aire.

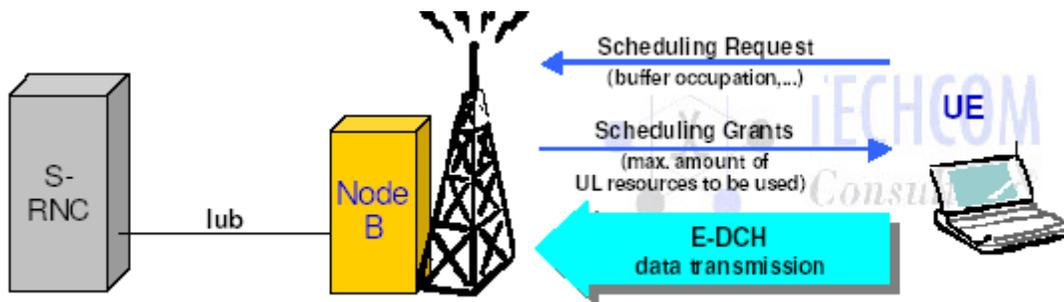


Figura 2 Programación de transmisión en UL en HSUPA

8.2.1.1.2 HARQ en UL

El principio de *Fast HARQ* es permitir al Nodo B que pregunte al terminal para que éste retransmita un paquete en UL que ha sido recibido incorrectamente en el Nodo B. Adicionalmente, el Nodo B puede usar métodos diferentes para la combinación de las transmisiones múltiples de un mismo paquete, reduciendo así la relación señal a ruido necesaria para cada transmisión individual. De esta manera, el BLER a alcanzar en el control de potencia *outer loop* podría ser significativamente mayor, reduciendo así las necesidades de potencia de transmisión por parte del terminal para un tipo de servicio dado. Por lo tanto, la capacidad de la celda se incrementa para la misma carga en la celda, ya que los terminales transmiten con menor potencia.

Retransmisiones HARQ

Las retransmisiones de paquetes en UL en la R'99 son controladas por el protocolo RLC, situado en la SRNC, lo cual acarrea grandes retrasos. La primera retransmisión puede sufrir retrasos mayores que 100 milisegundos. Sólo factible para servicios *Interactive & Background*.

En HSUPA (R6), la nueva entidad MAC-e situada en el Nodo B se encarga de controlar las retransmisiones. Emplea el protocolo *HARQ Stop & Wait*, al igual que en HSDPA, lo que permite enviar retransmisiones con mayor fiabilidad hasta que el Nodo B las reciba correctamente. Las estrategias de retransmisión son las mismas que en HSDPA: *Incremental Redundancy & Chase Combining*.

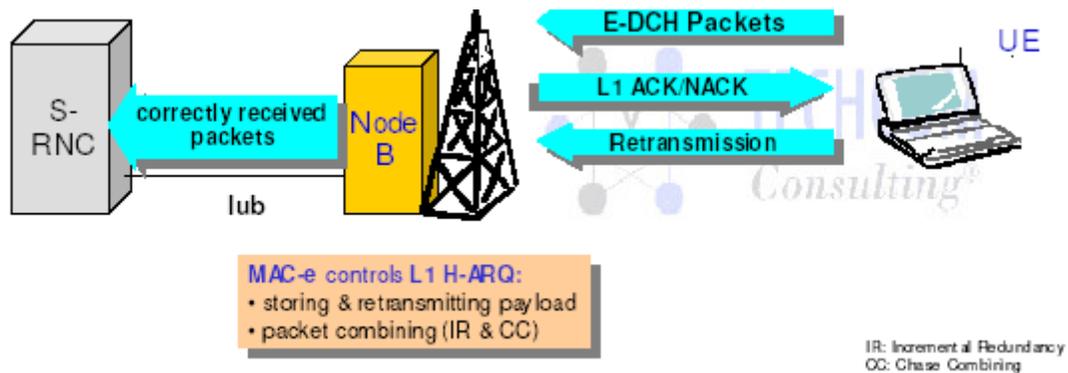


Figura 3 HARQ en HSUPA

Los reconocimientos por parte del Nodo B son sincronizados y enviados a través de un nuevo canal físico radio. La primera retransmisión puede sufrir un retraso de 10 milisegundos como máximo, si el *TTI* es igual a 2 milisegundos.

El protocolo RLC sigue manteniendo el control de flujo de paquetes y pedirá retransmisiones si HARQ no consigue hacer llegar al Nodo B los paquetes enviados por el terminal. Recordemos que HARQ trabaja a nivel físico.

HARQ y Soft Handover en HSUPA

La operación de HARQ en *soft handover* supone una complejidad adicional no presente en HSDPA. La ganancia es fácil de imaginar: el terminal envía el mismo paquete por dos radio enlaces distintos que pertenecen a sendos Nodos B. Uno recibe el paquete correctamente y otro Nodo B falla en su decodificación. En este caso, el primero envía un reconocimiento positivo hacia el terminal y el segundo Nodo B un reconocimiento negativo. Lo que debe ocurrir es que el terminal no envíe de nuevo el paquete y que la Red sepa que lo ha recibido correctamente. La SRNC necesita asegurar la entrega secuenciada de paquetes a las capas superiores y realizar la combinación de paquetes recibidos desde diferentes Nodos B.

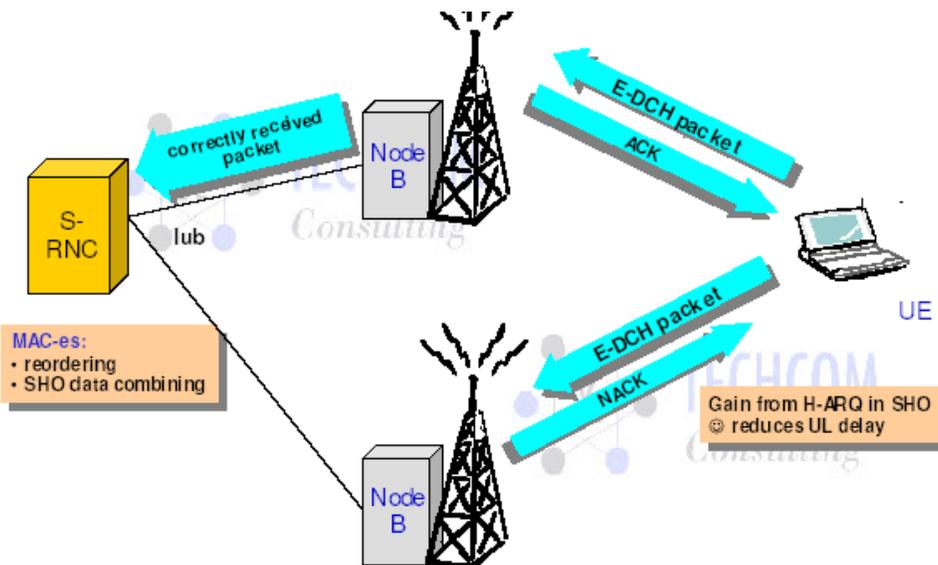


Figura 4 HARQ y SHO en HSUPA

8.2.1.1.3 TTI más corto

Un *TTI* más corto reduce el retraso en las retransmisiones HARQ. La posibilidad de fijar el *TTI* a 2 milisegundos en el enlace descendente para HSDPA es factible ante el hecho de que no se necesita control de potencia en la transmisión de los canales radio HS-PDSCHs. Tal argumento no es aplicable en el enlace ascendente debido a que no es posible desactivar el control de potencia, tal y como se ha explicado anteriormente. A parte de las ventajas en las retransmisiones HARQ, la búsqueda de la reducción del *TTI* atiende también a las limitaciones de potencia que tienen los terminales. Así, con la misma cantidad de datos por *TTI*, un terminal transmitirá menos energía durante 2 milisegundos ($TTI=2$ msec) que durante 10 milisegundos, repercutiendo en un ahorro de energía. Pero por otro lado, la ganancia de entrelazado se reduce si disminuimos el

periodo de transmisión. De modo que, a pesar de que un *TTI* corto redundante en ahorro de batería en el terminal y disminuye el retraso de las retransmisiones del protocolo HARQ, para un usuario operando en el borde de la celda, el uso de 10 milisegundos podría ser todavía necesario para afianzar la robustez del enlace ascendente cuando las condiciones radio E_c/N_0 son desfavorables. Dicho esto, el *TTI* en HSUPA no es fijo, sino que fluctúa entre 2 y 10 milisegundos.

8.2.1.1.4 AMC en HSUPA.

No existe Modulación Adaptativa en HSUPA! Inicialmente se pensó en adaptar la modulación según las condiciones radio, conmutando entre BPSK (un *bit* por símbolo) y 8PSK (tres *bits* por símbolo). Pero, como se ha indicado anteriormente, la complejidad en el terminal es muy alta. De modo que siempre transmite señales moduladas en BPSK.

Lo que sí existe es Codificación Adaptativa, lo que nos permite introducir el concepto de **Fast Link Adaptation**. El terminal, a través de su entidad MAC-e, decide el formato y combinación del bloque de transporte del canal E-DCH en función de la calidad del enlace radio, estimado a través del E_c/N_0 del canal piloto CPICH cada *TTI*. Así consigue adaptar dinámicamente la tasa efectiva de codificación cada *TTI*, que puede ser 2 ó 10 milisegundos. Hasta la fecha, en la transmisión de paquetes en UL en R'99, únicamente existe una codificación turbo 1/3 fija. Ahora, teniendo como base la Codificación Turbo 1/3 de la R'99, sufre una etapa de *Rate Matching* (*Puncturing* o *Repetition*), a partir de la cual consigue tasas efectivas de *bits* entre $1/4$ y 1. Es similar a HSDPA.

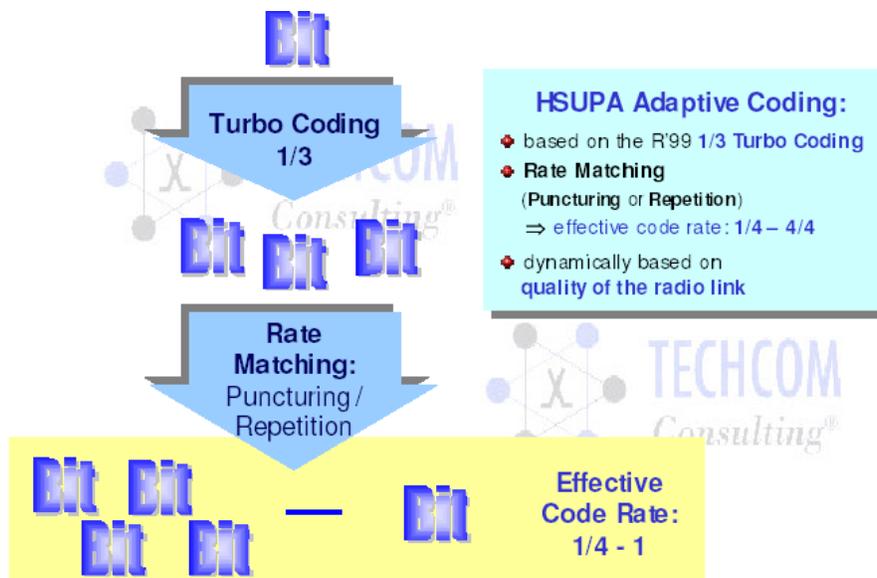


Figura 5 Codificación Adaptativa en HSUPA

8.2.1.2 Impacto en Red

A continuación describiremos las modificaciones que sufre la red UTRAN si se implementa HSUPA. Suponemos que ya está implementada HSDPA:

- **Modificaciones en el Nivel Físico**, tanto en la Red UTRAN como en el terminal. Se introducen nuevos canales físicos y de transporte, y se modifica la codificación según las condiciones radio.
- **Modificaciones en la Capa MAC**, tanto en la Red UTRAN como en el terminal. Existe una nueva entidad MAC-e en el Nodo B y en el terminal.
- Funcionalidades desplazadas desde el RNC al Nodo B:
 - **Transmisión con reconocimiento o acuse de recibo (HARQ)**, lo que acelera las retransmisiones en UL y reduce el retraso. Además, disminuye la señalización en el interfaz Iub.
 - **Programación de paquetes en UL**, que acelera la asignación de recursos en UL. De alguna manera determina cómo el terminal se debe comportar.
- **RNC sufre únicamente cambios SW**
- **Nodo B sufre únicamente cambios SW**

8.2.2 LTE – “Long Term Evolution”

LTE (Long Term Evolution) es un nuevo estándar de la norma 3GPP. Definida para unos como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G) para otros un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G). En realidad LTE está definido en el 3GPP como LTE Release 8, que según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) no alcanza la categoría de 4G. Por ello, el 3GPP ha seguido evolucionando las releases 9 y 10 dándole el nombre de LTE advanced que es una actualización del LTE R'8 y así cumplir con los requisitos del UIT. Se puede decir que LTE es una primera versión o 3,9G y ya con el LTE advanced se alcanza la categoría de 4G.

En cualquier caso los cambios principales se introducen con LTE R8 donde conceptualmente se da forma a una nueva red que se puede mejorar con el LTE advanced.

Lo novedoso de LTE es la interfaz radioeléctrica basada en OFDMA para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA para el enlace ascendente (UL). La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación.

8.2.2.1 Características y estructura de LTE

LTE o E-UTRAN (Evolved UTRAN) es la parte de acceso de la Evolved Packet System (EPS). Los principales requerimientos para la nueva red de acceso son la eficiencia espectral elevada, altas tasas de datos, tiempos de respuesta cortos y flexibilidad de frecuencia.

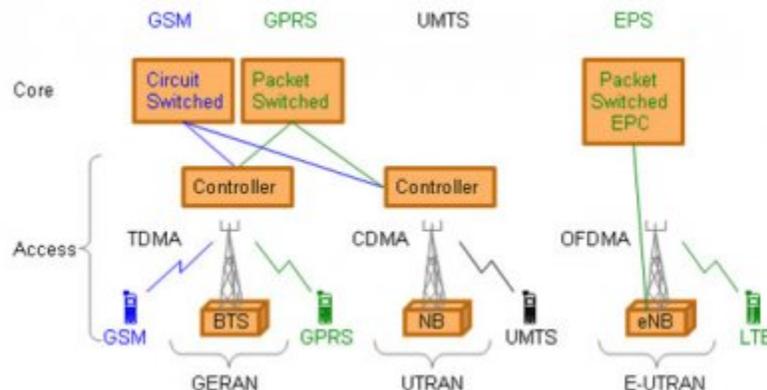


Figura 6 Network Solutions from GSM to LTE

La tecnología inicial móvil GSM fue desarrollada para transportar servicios en tiempo real en modo conmutación de circuitos (típicamente llamadas de voz). El primer paso hacia la conmutación de paquetes IP fue llevado a cabo a través del GPRS usando el mismo interfaz aire y método de acceso, el TDMA o multiplexación en tiempo.

Para alcanzar tasas de datos más altas, se desarrolló el UMTS basado en CDMA o multiplexación en códigos. Donde se desarrolló además el HSDPA para alcanzar mayores tasas sobre el mismo sistema. HSDPA sin embargo no implica cambios en la estructura de acceso o de núcleo de red. Siguen existiendo los mismos interfaces que con UMTS, se trata de una mejora u optimización del sistema inicial UMTS.

El EPS (Evolved Packet System) es puro IP. Tanto los servicios en tiempo real como los servicios de datos serán transportados por protocolos IP. La dirección IP es asignada cuando el terminal se enciende y se libera cuando se apaga. La nueva solución para la red de acceso, LTE, está basada en OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para ser capaces de alcanzar tasas aún más altas que con HSDPA. Parte de la solución son la modulación de mayor orden (64QAM), mayor ancho de banda (hasta 20 MHz) y transmisión MIMO en el enlace descendente. La tasa teórica más alta sería de 170 Mbps en el sentido de subida (UL) y hasta 300 Mbps en bajada (DL).

El núcleo de Red (ahora EPC) está preparado para trabajar con otras tecnologías no desarrolladas por el 3GPP como WiMAX o WiFi.

La red de acceso LTE es simplemente una red de estaciones base, Evolved NB o NB evolucionado, que generan una estructura plana como se observa en la figura siguiente. No existe el controlador centralizado (como en UTRAN el RNC) y los eNB son interconectados a través del interfaz X2 y hacia el Núcleo de Red o EPC a través del interfaz S1.

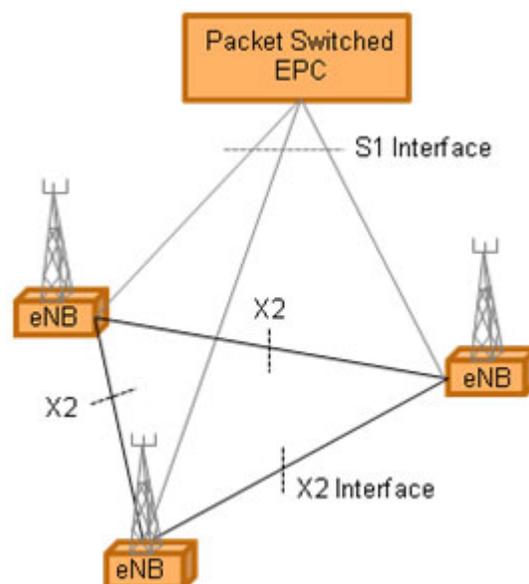


Figura 7 X2 and S1 Interfaces

Otra ventaja con esta solución distribuida es que la capa MAC, responsable de la programación o secuenciación está presente únicamente en el terminal y en la estación

base lo que conduce a una comunicación y toma de decisión rápida entre Terminal y eNB. En UTRAN, la capa MAC esta presente en el RNC.

El programador o secuenciador es un componente clave para conseguir una rapido y eficiente uso de los recursos radio. Además ahora el intervalo entre transmisiones se reduce a 1 ms.

Durante cada TTI el eNB debe:

- Considerar las condiciones radio para cada Terminal. El Terminal informa de su calidad radio y el secuenciador decide que esquema de modulación y codificación usar para ese Terminal. La solución depende de la rápida adaptación a las variaciones del canal usando HARQ.
- Priorizar los requerimientos de QoS entre los Terminales. LTE soporta tanto los servicios en tiempo real (p.e. llamadas de voz) como los servicios de datos.
- Informar a los Terminales de los recursos radio asignados. EL eNB programa al Terminal tanto en enlace ascendente como descendente. Para cada Terminal en un TTI, habrá un bloque de transporte (TB) que llevará datos de usuario. En el descendente puede haber un máximo de de 2 TBs por Terminal (si se usa la tecnología MIMO). EL TB será entregado en un canal de transpote. En LTE, el número de canales se reduce respecto a UMTS. Para el plano de usuario hay solo un canal compartido en cada dirección. El TB enviado en el canal de transporte puede contener por tanto bits de diferentes servicios mezclados juntos En teoría el máximo número de usuarios atendidos en un TTI de 1 ms podría llegar a 440 si se utilizará una banda de 20 MHz y tecnología MIMO 4x4.

Para conseguir una alta eficiencia espectral radio se utiliza una aproximación multiportadora para el acceso. En el enlace descendente se utilízale OFDMA y en el ascendente SC-FDMA tambien conocido como DFT sobre OFDMA (Figura siguiente).

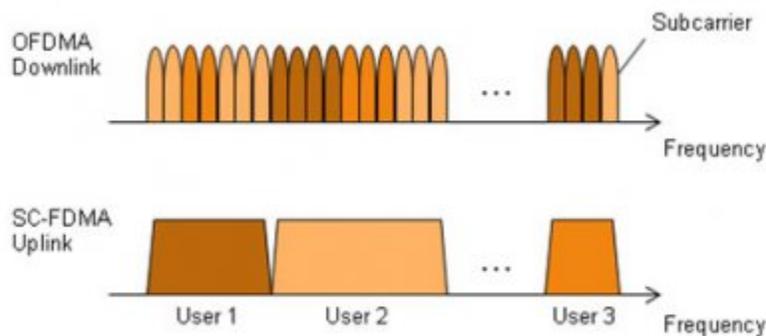


Figura 8 OFDMA and SC-FDMA

OFDMA es una tecnología multiportadora que subdivide el ancho de banda disponible en multitud de subportadoras de ancho de banda estrecho ortogonales entre si. Esta solución consigue una muy alta eficiencia espectral pero requiere de procesamiento muy potente. El OFDMA conduce a amplificadores de potencia caros con alta exigencia en linealidad aumentando el consumo de baterías en los Terminales. No es un problema en el eNB pero llevaría a terminales demasiado caros. Por tanto una solución diferente con menores requerimientos para los telefonos móviles en el enlace ascendente.

Para hacer posible el despliegue alrededor del mundo, LTE ha sido desarrollado para un amplio espectro de frecuencias desde 800 MHz hasta 3,5 GHz. Los anchos de banda disponibles son también flexibles entre 1,4 MHz y 20 MHz.

LTE proporciona alta eficiencia espectral altas tasas de datos e implementa una arquitectura de acceso muy flexible, es una tecnología con éxito asegurado tanto para operadores como usuarios.

