6 Funcionalidades HSDPA e impacto en las redes UMTS

En este capítulo vamos a enumerar y describir el impacto de la introducción de HSDPA en la red UMTS. Todas estas descripciones son básicas para conseguir entender las necesidades en el diseño y optimización de una red móvil que se pretenda dotar de HSDPA

6.1 Gestión de la Movilidad en HSDPA

Los mecanismos de movilidad *hard handover* y *soft handover* permiten que el Terminal pueda moverse cuando se encuentra en modo Cell_DCH de una celda a otra, ambas pertenecientes a la misma o distinta frecuencia o dentro del mismo o distinto sistema. El canal de transporte HS-DSCH es un canal común compartido por todos los Terminales presentes dentro de una misma celda. La entidad MAC-hs, localizada en el Nodo B, realiza la programación de accesibilidad de los Terminales a dicho canal a nivel de celda. Entonces, se intuye que el Terminal no puede combinar los datos de múltiples HS-DSCHs provinentes de celdas diferentes, ya que una celda servirá en un momento "x" y otra celda en un momento "y". Es decir, no hay *Soft Handover* para el canal HS-DSCH. Esto significa que el Terminal únicamente puede recibir el canal HS-DSCH de una sola celda, aunque sí pueda recibir DCHs desde las múltiples celdas incluidas en el *Active Set.* La celda en la cual está establecido el canal HS-DSCH se llama **Celda Servidora HS-DSCH.** Debido a la movilidad que presenta un Terminal, la calidad del radio enlace servidor siempre está variando y puede que se degrade tanto como para que el sistema necesite conmutar o mover la celda servidora HS-DSCH a otra celda con mejor calidad radio, para mantener una tasa binaria aceptable o incluso salvar la transferencia de datos establecida. Esto es un *Hard Handover*, como en GSM. El SRNC se encarga de llevar a cabo estas tareas.

Otra consecuencia de la movilidad de un Terminal es que se pueda dejar una zona que soporte HSDPA y entrar en una zona donde no se soporte. En este caso, el SRNC debe realizar una conmutación de tipo de canal (CTS) desde HS-DSCH a DCH, lo que se conoce como *Outward*. Por el contrario, cuando el Terminal entra en una celda que soporta HSDPA desde una celda R'99, el SRNC conmuta desde DCH a HS-DSCH, procedimiento llamado *Inward.*

En la R5 los cambios de celdas servidoras HSDPA son siempre controladas por la Red. Es el SRNC quien decide cuándo se debe realizar el cambio y cuál es la nueva celda que servirá al Terminal. La decisión puede estar basada en los reportes de medidas que envía el Terminal u otra información disponible en la red y que sólo conoce el SRNC. El procedimiento es controlado por el protocolo RRC, como tantos otros procedimientos de de traspaso en modo Cell_DCH.

6.1.1 Cambio de la celda servidora HS-DSCH: Evento 1D

Como ya se ha indicado en apartados anteriores, los canales físicos HS-PDSCH y HS-SCCH se transmiten únicamente desde una sola celda servidora hacia el Terminal. El SRNC determina la celda servidora HS-DSCH a partir de las medidas reportadas por el Terminal. A partir de ahí, si se dan las condiciones de cambio de celda, tiene lugar un traspaso sincronizado de una celda a otra, lo que se conoce como *Hard Handover*. El concepto *Hard* está asociado a que no existe continuidad en la transmisión de datos durante el traspaso, al igual que ocurre en GSM.

Se sabe que el SRNC determina las celdas que compondrán el *Active Set* del Terminal para la transmisión de los canales dedicados. El SRNC típicamente basa su decisión en peticiones recibidas desde el Terminal cuando se dan las condiciones de disparo de los distintos eventos (1A, 1B, 1C). A través de los mensajes RRC *Measurement Control*, el SRNC indica al Terminal la lista de celdas que debe medir y reportar, como posibles candidatas a formar parte del *Active Set*.

Para HSDPA se define un nuevo evento, **el Evento 1D o "cambio de mejor celda dentro del *Active Set*"**. A través de este procedimiento, el Terminal básicamente reporta la mejor celda servidora HS-DSCH dentro del actual *Active Set* a el SRNC, según medidas de Ec/No o RSCP sobre el piloto P-CPICH. Es posible configurar el sistema para que el Terminal únicamente mida las celdas que actualmente pertenezcan al *Active Set* o todas las celdas que pueda monitorizar (según el *Measurement Control*). El uso de histéresis evita cambios de celda servidora rápidos. También se puede favorecer el traspaso de una celda específica, según su *CIO (Cell individual Offset).*

Se muestra un ejemplo en la Figura 73, el Terminal se mueve desde la celda 1 hacia la celda 2. En cierto momento, el Ec/No del piloto de la celda 2 es mejor que el de la celda 1. Después de un tiempo de seguridad *TTT (Time to Trigger),* el Terminal reporta el evento 1D hacia el SRNC indicando el código *scrambling* y el valor de la medida realizada (Ec/No o RSCP) de la celda 2, para informa al SRNC acerca de una celda mejor desde el punto de vista radio, de acuerdo a los criterios fijados por el SRNC y conocidos por el Terminal en previos *Measurement Control* (histéresis, TTT...). El tiempo de seguridad TTT, junto con la histéresis, evitan reportes de medidas demasiado frecuentes y, en consecuencia, de cambios de celdas demasiado rápidos y continuos, lo que redunda en carga excesiva de señalización. En este ejemplo, se aprecia que, para que el Terminal envíe un evento 1D a la Red, el Ec/No de la celda 2 debe exceder el de la celda 1 más una histéresis H(1d) durante un tiempo mínimo de TTT. Por razones de simplicidad, asumimos que CIO se configura a cero, de modo que no habrá retraso o aceleración en los reportes de medidas del evento 1D. Una vez el SRNC reciba el *Measurement Report* con el evento 1D, puede ejecutar el procedimiento que nos ocupa, esto es, *HS-DSCH Cell Change.*

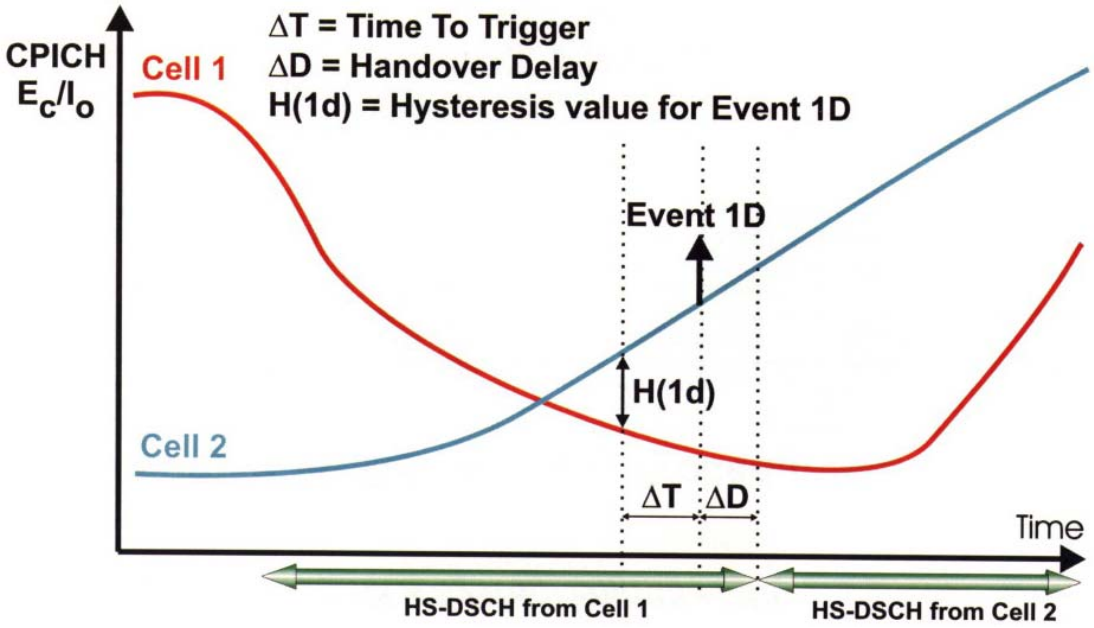


Figura 1 Evento 1D

Todo es un proceso controlado por la red. El SRNC especifica a través del tiempo de activación, cuando debe el Terminal dejar la celda vieja y cambiar a la nueva. Es un proceso sincronizado. Ya que un cambio de celda implica señalización RRC, NBAP y ALCAP, y debido al tiempo de activación, existe un cierto retraso hasta que el proceso finaliza.

6.1.1.1 Clasificación de los cambios de celda

Respecto a la configuración del canal físico dedicado:

- Cambio de celda servidora HS-DSCH mientras se mantiene la configuración de canal físico asociado dedicado y el *Active Set.*

- Cambio de celda servidora HS-DSCH en combinación con un establecimiento, liberación y/o reconfiguración de canales físicos asociados dedicados (nota: esto implica una actualización del *Active Set*, por definición).

- Cambio de celda servidora HS-DSCH en combinación con una actualización del *Active Set* en *Soft Handover*.

Respecto a la sincronización entre el Terminal y la red UTRAN, en cuanto a que la transmisión y recepción de datos se para y se posteriormente se reanuda:

1. Cambio de celda servidora HS-DSCH sincronizado: inicio y parada de transmisión y recepción de HS-DSCH se realiza en un cierto tiempo o momento típicamente seleccionado por la red.

2. Cambio de celda servidora HS-DSCH no sincronizado: inicio y parada de transmisión y recepción de HS-DSCH se realiza tan pronto como sea posible en cualquier de los extremos.

Respecto al Nodo B servidor de HSDPA:

1. Cambio de celda servidora HS-DSCH intra Nodo B: la celda origen y la celda destino pertenecen al mismo Nodo B. El Nodo B servidor no cambia.

2. Cambio de celda servidora HS-DSCH inter Nodo B: la celda origen y la celda destino pertenecen a Nodos B diferentes. El Nodo B servidor cambia, con lo que un proceso diferente debe ser ejecutado por la red UTRAN: *Serving Hs-DSCH Node B Reallocation.* Durante el mismo, las entidades HARQ localizadas en el Nodo B fuente pertenecientes a un Terminal específicos son eliminadas y se establecen nuevas entidades HARQ en el Nodo B destino. Este proceso no puede ser ejecutado sin que exista un procedimiento de cambio de celda servidora, aunque sí es posible si ocurre lo inverso.

De todos modos, las relaciones entre celdas y Nodos B deben permanecer transparentes al Terminal.

6.1.1.2 Cambio de celda Intra Nodo B

La Figura 74 muestra cómo cambia la celda servidora dentro del mismo Nodo B. Por razones de simplicidad, únicamente aparece una única entidad MAC-hs, aunque cada celda tenga su propia entidad.

Una vez el SRNC decide realizar el traspaso desde una celda HS-DSCH fuente a una celda HS-DSCH destino, ambas pertenecientes al mismo Nodo B, el SRNC envía un mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration Prepare* hacia el Nodo B, seguido de una mensaje RRC *Physical Channel Reconfiguration* hacia el Terminal. En el tiempo especificado *(Activation Time)*, la celda fuente detiene la transmisión de datos hacia el Terminal. A partir de entonces, el programador de paquetes de la entidad MAC-hs de la nueva celda puede ejercer el control de la transmisión de datos sobre el Terminal. Del mismo modo, el terminal empieza a escuchar el conjunto de canales HS-SCCH (hasta un máximo de cuatro, dependiendo de las circunstancias de la nueva celda en términos de

recursos de códigos de canalización, etc) de la celda destino, la cual será la nueva celda servidora del canal HS-DSCH.

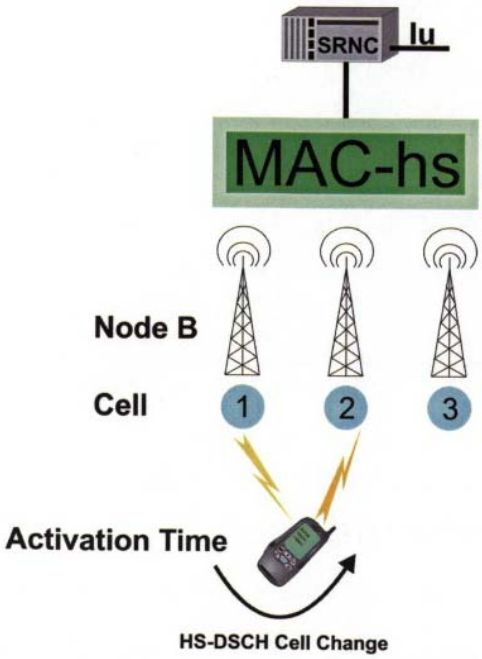


Figura 2 Escenario Cambio de celda servidora Intra-NB

El procedimiento también implica que el Terminal tenga que estimar la calidad del canal descendente de la nueva celda. Se recomienda y se da por defecto que la entidad MAC-hs no transmita datos hacia el Terminal hasta que éste no haya reportado el primer CQI.

Antes de que se produzca el traspaso, es probable que hayan varios PDUs almacenados en la memoria de la entidad MAC-hs de la celda fuente, bien porque nunca han podido ser transmitidos hacia el Terminal o bien porque son PDUs pendientes de reconocimiento ACK/NACK o pendientes de ser nuevamente retransmitidos (gestor HARQ).

MAC-hs Preservation

Este concepto hace referencia a que, en caso de cambio de celda servidora entre celdas pertenecientes a un mismo Nodo B, todas las PDUs destinadas al Terminal y que no han sido completamente enviadas se traspasan desde la entidad MAc-hs de la celda fuente hasta la entidad homóloga de la celda destino. Esto implica que se preserve también el estado del gestor HARQ sin que se dispare ninguna retransmisión de datos desde capas superiores, tales como RLC, durante el transcurso del traspaso. Si el Nodo B no soporta esta funcionalidad, la gestión de esas PDUs aún no completadas se lleva a cabo de las misma forma que en un traspaso inter Nodo B, el cual veremos en el siguiente punto.

Estas funcionalidades dependen principalmente de la evolución SW del suministrador y no tanto de una decisión de los operadores.

Nota: En caso de RLC-AM *(Acknowlegde Mode)*, el estado de la transmisión de datos hacia el Terminal a nivel RLC se puede obtener a través de la función *polling*. De modo que el SRNC podrá, de forma inmediata, reenviar a la nueva celda destino todas las RLC PDUs de las cuales no se haya recibido aún el acuse de recibo y que fueron eliminadas de la celda fuente antes de que el cambio de celda servidora HS-DSCH fuera efectivo. En caso de RLC-UM *(Unacknowlegde Mode),* las PDUs de la celda fuente esperando a ser transmitidas podrían ser transferidas a la celda destino en caso de traspaso intra Nodo B, aunque esto depende de la solución particular del suministrador a la hora de implementarlo, ya que no está contemplado en el estándar.

Durante el traspaso de celda servidora HS-DSCH intra Nodo B es probable que el canal dedicado asociado al Terminal, DPCH, esté en *soft handover.* También podría ocurrir que el canal HS-DPCCH estuviera en *soft handover*, de modo que las dos celdas implicadas en el Nodo B tuvieran que asignar *Rake fingers* para la demodulación y recepción de una señal HS-DPCCH combinada. Esto podría mejorar la cobertura en el canal ascendente del canal HS-DPCCH, sin que aparecieran problemas de control de potencia, como sí los hay en un escenario de *Inter Nodo B soft handover.*

Señalización asociada al procedimiento

La figura 75 ilustra un cambio de celda servidora HS-DSCH intra-Nodo B mientras se mantiene el *Active Set* y la configuración de canal físico dedicado, a través del uso del procedimiento *Physical Channel Reconfiguration.* La transición de una celda a otra se realiza de forma sincronizada, dado por el tiempo de activación.

En este ejemplo, el Terminal transmite un mensaje RRC *Measurement Report* al SRNC indicando los resultados de las medidas intra-frecuencia. Recordemos que este mensaje RRC únicamente se envía cuando se da alguna de las condiciones de disparo de alguno de los eventos asociados a procedimientos RRC, condiciones que recibe el Terminal del SRNC en un mensaje RRC *Measurement Control.* Supongamos en este caso que la condición de disparo presente es la correspondiente al evento 1D. Cuando el SRNC toma de la decisión de traspaso, a continuación prepara al Nodo B para que se produzca el traspaso en el momento indicado en el parámetro *activation time*, contenido en el mensaje NBAP *RL Reconfiguration Commit*. A renglón seguido, el SRNC envía un mensaje RRC *Physical Channel Reconfiguration* al Terminal, en el cual indica la celda servidora HS-DSCH destino y el tiempo de activación. Ya que el control de ambas celdas origen y destino es ejercido por el mismo Nodo B, asumimos que no es necesario restaurar las entidades MAC-hs. La restauración o reset de una entidad MAC-hs normalmente se realiza cuando los *soft bits* HARQ se han perdido (PDUs del MAC-hs sin acuse de recibo aún), lo cual puede ocurrir también en cambios de celdas dentro del mismo Nodo B.

Cuando el Terminal ha completado el cambio de celda servidora transmite un mensaje RRC *Physical Reconfiguration Complete* al SRNC.

Se ha asumido que los parámetros del canal de transporte HS-DSCH y del portador radio no cambian. Si no fuese así, el cambio de celda servidora HS-DSCH necesitaría ser ejecutado a través de otro procedimiento (no el *Physical Channel Reconfiguration)*, es decir, a través de los procedimientos *Transport Channel Reconfiguration* o *Radio Bearer Reconfiguration,* respectivamente.

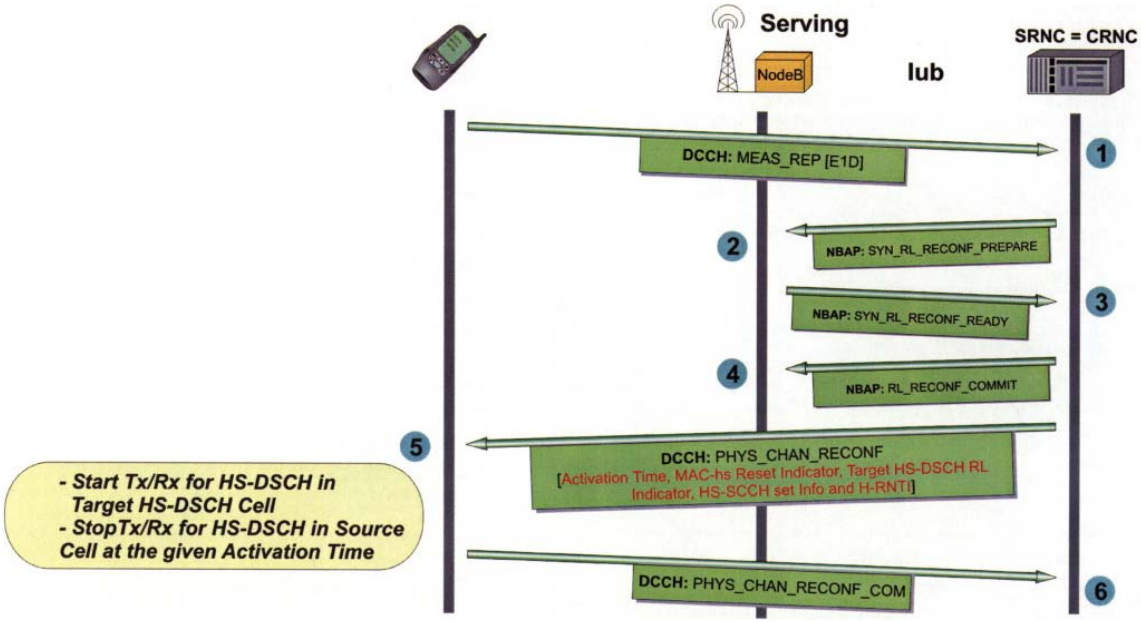


Figura 3 Señalización asociada a Cambio de celda servidora Intra-NB

Comentemos brevemente la señalización asociada de la figura:

1. El Terminal envía un *Measurement Report* (evento 1D) al SRNC a través del canal dedicado asociado DCCH (el cual es transmitido en el canal físico DPCH). El criterio fijado por el SRNC para que el Terminal realice las medidas fue configurado previamente en un mensaje *Measurement Control* en el enlace descendente, el cual no aparece en la figura. En este ejemplo suponemos que el criterio es el Ec/No del P-CPICH. También se indica en él las celdas que el Terminal debe monitorizar, definidas en la Base de Datos del SRNC como vecinas de la celda servidora y de las celdas que componen el *Active Set.*

2. El SRNC decide si hay necesidad de hacer el cambio de celda servidora y pide al Nodo B que lleve a cabo una reconfiguración sincronizada del enlace radio usando el mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration Prepare*. Lo elementos de información o IEs más significativos incluidos son *HS-DSCH Information, HS-DSCH RNTI y HS-PDSCH Radio Link ID.*

3. El Nodo B devuelve el mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration Ready*, con el IE *HS-DSCH Information Response.*

4. A continuación el SRNC transmite un mensaje NBAP *Radio Link Reconfiguration Commit* hacia el Nodo B, incluyendo al tiempo de activación en forma de CFN.

5. El SRNC transmite un mensaje RRC *Physical Channel Reconfiguration* al Terminal, indicando el *Activation Time, MAC-hs reset indicator, serving HS-DSCH radio link indicator, HS-SCCH set info* y el *H-RNTI*.

6. En el tiempo de activación indicado el Terminal deja de recibir el canal HS-DSCH de la celda fuente y empieza a recibirlo de la celda destino. Después, el Terminal devuelve el mensaje RRC *Physical Reconfiguration Complete* al SRNC, siempre a través del DCCH.

6.1.1.3 Cambio de celda HS-DSCH Inter Nodo B

La Figura 76 representa un traspaso de celda servidora HSDPA entre dos celdas pertenecientes a sendos Nodos B. Ambos pertenecen al mismo RNC, para simplificar el proceso, aunque bien podrían pertenecer a RNCs distintos (SRNC ↔DRNC).

Una vez el SRNC decide iniciar el traspaso (después de que el Terminal haya reportado el Evento 1D), envía un mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Prepare* al Nodo B destino. Después envía un mensaje RRC *Transport Channel Reconfiguration* al Terminal, a través del cual le indica que restaure su entidad MAC-hs y que genere un informe con el estado de cada una de las entidades RLC asociadas con el canal HS-DSCH. La restauración de la entidad MAC-hs implica que todas las PDUs MAC-d almacenadas sean eliminadas, incluyendo las pendientes de acuse de recibo o de retransmisiones, gestionadas por el gestor HARQ. Al igual que anteriormente, el momento en que se realizan estas operaciones, así como el cambio de celda, viene definido por el parámetro *Activation Time*. A partir de ese preciso momento, la unidad de control de flujo localizada en la entidad MAC-hs de la celda destino empieza a pedir PDUs a la entidad MAC-d del SRNC, para que puede empezar a transmitir datos al Terminal en su canal HS-DSCH.

Como las PDUs que se quedaron en la memoria de la entidad MAC-hs de la celda origen fueron eliminadas al hacer el reset, esos datos deben ser recuperados por las capas superiores, como RLC, a través de retransmisiones. Cuando el protocolo RLC percibe que no ha recibido el acuse de recibo de las PDUs que originariamente fueron enviadas a la celda origen, empezará las retransmisiones, lo que se traduce en enviar las mismas PDUs a través de la entidad MAC-d de la nueva celda. Para reducir el retraso potencial que implican dichas retransmisiones, el protocolo RLC del Terminal se puede configurar para que envíe el informe de estado RLC al SRNC nada más se produzca el primer incidente tras el cambio de la celda servidora.

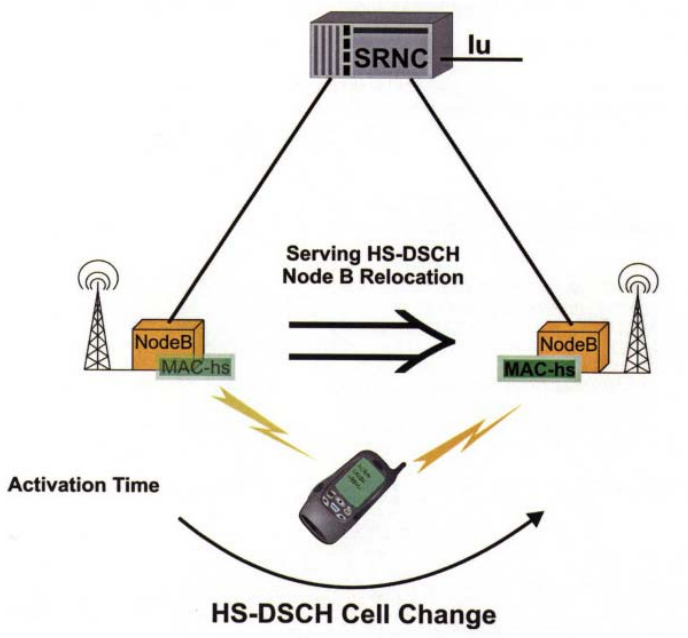


Figura 4 Escenario Cambio de celda servidora Inter-NB

Para aplicaciones de usuario que no incluyan ningún mecanismo de retransmisión de capas superiores, como aquellas que corren bajo UDP y utilizan RLC-UM, las PDUs que se eliminan en la celda origen antes del traspaso se pierden por completo. Por lo tanto, si estas aplicaciones manejan grandes cantidades de datos, debemos evitarlo en la medida en que nos sea posible, ya que perderemos muchos datos cada vez que hagamos un traspaso entre Nodos B. Se debería optimizar el control de flujo entre las entidades MAC-d y MAC-hs, asegurando que la memoria o buffer de la entidad MAC-hs tiene ya suficientes PDUs de la entidad MAC-d como para no perder la continuidad en la transmisión de datos en el canal HS-DSCH. Así se evitaría la eliminación de grandes cantidades de datos en caso de traspaso. Además, esto también tiene impacto en el programador de la propia entidad MAC-hs.

6.1.1.4 Hard Handover

La Figura 77 ilustra un cambio de celda sincronizada entre dos celdas pertenecientes a diferentes Nodos B en combinación con ***Hard Handover,*** necesario para traspasos rápidos de ambos canales DCHs y HS-DSCH al mismo tiempo. La reconfiguración se realiza en dos pasos dentro de la red UTRAN. En el interfaz radio solamente se usa un único procedimiento RRC. El Terminal envía un *Measurement Report* con evento 1D al SRNC. A partir de ahí es el SRNC quién determina la necesidad de un *Hard Handover* basado en reportes de medidas recibidas y/o algoritmos de control de carga.

Como primer paso, el SRNC establece un nuevo enlace radio en el Nodo B destino a través de un mensaje NBAP *Radio Link Setup***.** En el segundo paso, este nuevo enlace radio se prepara para que su configuración de sincronización se ejecute justo en el momento indicado en el elemento de información *Activation Time*, incluido en el mensaje NBAP *RL Reconfiguration Commit***.** Después del primer paso, el Nodo B destino empieza la transmisión y recepción en los canales dedicados (DCH ↔ DCCH). Justo en el tiempo de activación indicado por el sistema, el Nodo B destino, nuevo servidor del canal HS-DSCH, empieza la transmisión de dicho canal de transporte, al tiempo que el Nodo B origen lo para.

Para iniciar el *Hard Handover* el SRNC envía un mensaje *Transport Channel Reconfiguration* en la configuración inicial. En él se indica la configuración que tendrá efecto después de traspaso, tanto para el canal DCH como para HS-DSCH. El mensaje incluye un *flag* indicando que la entidad MAC-hs del Terminal debe resetearse. También incluye una actualización de los parámetros relacionados con el canal de transporte HS-DSCH en la celda HSDPA destino.

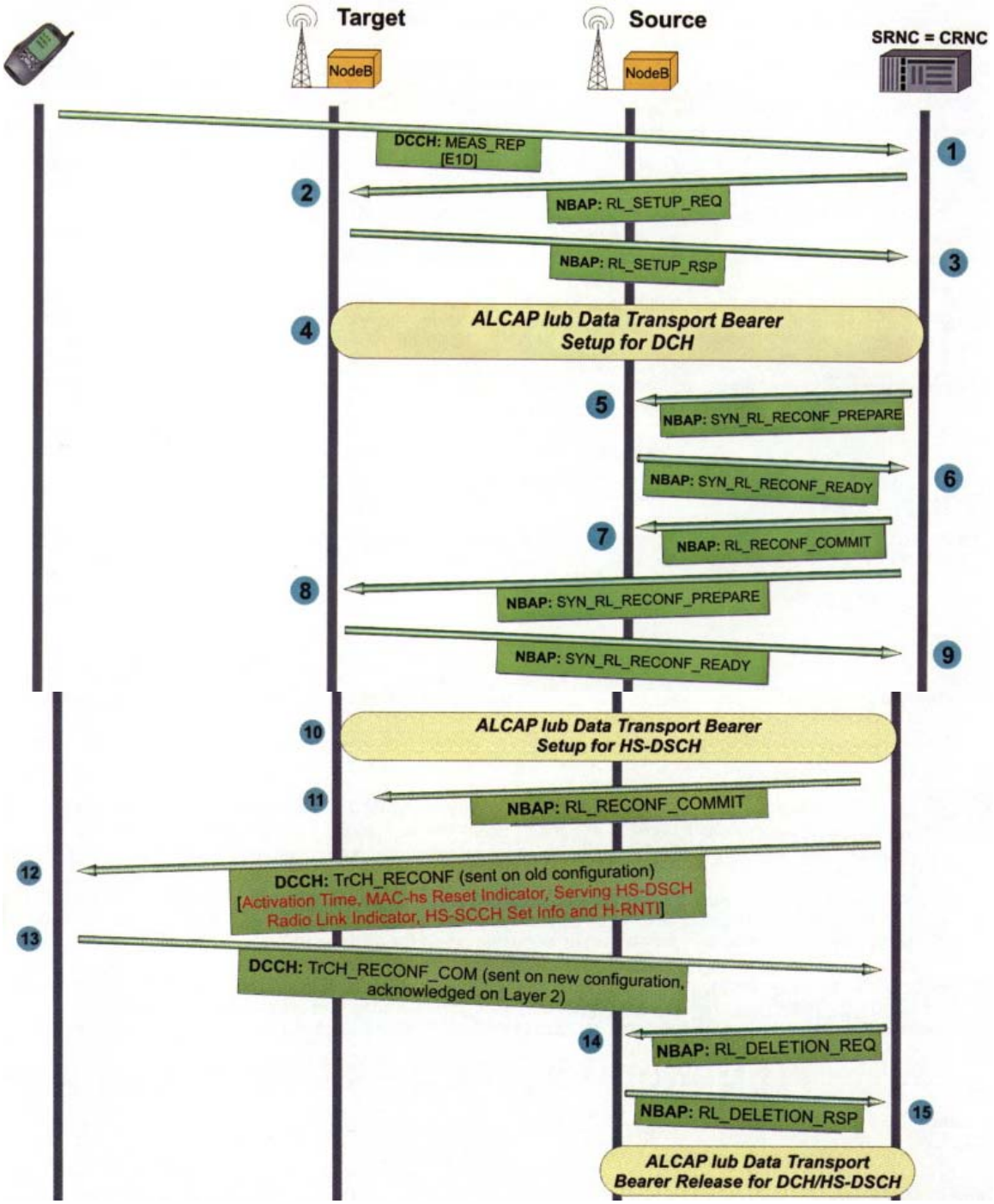


Figura 5 Señalización asociada a Cambio de celda servidora Inter-NB con Hard Handover

A continuación detallamos la señalización asociada:

1. El Terminal envía un *Measurement Report* (evento 1D) al SRNC a través del canal dedicado asociado DCCH para indicar la existencia de una celda mejor.

2. El SRNC decide que hay necesidad de hacer el *Hard Handover* en combinación con un cambio de celda servidora HS-DSCH. Entonces, transmite un mensaje NBAP *Radio Link Setup* al Nodo B destino.

3. El Nodo B destino asigna los recursos necesarios, empieza la recepción del nivel físico en el canal DPCH en el nuevo enlace radio y responde con el mensaje NBAP *Radio Link Setup Response.* Parámetros o IEs entregados: *HS-DSCH Informacion Response.*

4. El SRNC inicia el establecimiento de un nuevo portador de transporte de datos en el interfaz Iub a través del protocolo ALCAP, *Iub Data Transport Bearer,* para que la señalización soportada por el canal radio DCH puede ser transferida desde el Nodo B al SRNC. La petición contiene el parámetro *AAL2 Binding ID* para vincular dicho portador de transporte al canal radio DPCH (o DCH).

5. El SRNC pide al Nodo B origen servidor del canal HS-DSCH que lance el procedimiento de configuración de su enlace radio, a través del mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration* y elimine los recursos HS-DSCH para el enlace radio que los tiene asignados. Parámetros o IEs incluidos: *HS-DSCH Information, HS-DSCH RNTI, HS-PDSCHs RL ID.*

6. El Nodo B origen devuelve el mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration Ready,* incluyendo el elemento de información *HS-DSCH Information Response.*

7. El SRNC envía el mensaje NBAP *Radio Link Reconfiguration Commit* a la celda origen indicando cuándo la entidad MAC-hs debe detener el envío bloques de datos en el canal HS-DSCH. En el tiempo de activación indicado, el Nodo B origen para y el Nodo B destino empieza a transmitir hacia el Terminal en el canal HS-DSCH. Lógicamente, el elemento de información más relevante incluido es el *Activation Time*, seleccionado por el SRNC en forma de CFN.

8. A partir de este momento el SRNC pide al Nodo B destino que lance el procedimiento de configuración de su enlace radio, a través del mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration,* añadiendo los recursos HS-DSCH al nuevo enlace radio servidor de HSDPA.

9. El Nodo B destino devuelve el mensaje NBAP *Synchronized Radio Link Reconfiguration Ready,* incluyendo el elemento de información *HS-DSCH Information Response.*

10. El SRNC inicia el establecimiento de un nuevo portador de transporte en el interfaz Iub, a través del procedimiento ALCAP *Iub Data Transport Bearer,* esta vez para hacer posible que los datos destinados al Terminal a través del canal HS-DSCH

pueden ser transportados desde el SRNC al Nodo B. La petición contiene el parámetro *AAL2 Binding ID* para vincular dicho portador de transporte al canal radio HS-DSCH.

11. Una establecido el portador de transporte del canal HS-DSCH desde el SRNC hacia el Nodo B destino, el SRNC procede transmitiendo el mensaje NBAP *Radio Link Reconfiguration Commit* al Nodo B, donde le indica el *Activation Time*, seleccionado por el SRNC en forma de CFN, al igual que en punto 7, aunque en aquella ocasión para informar al Nodo B origen.

12. El SRNC transmite el mensaje RRC *Transport Channel Reconfiguration* al Terminal. En él, la red le indica los siguientes elemento de información: *Activation Time, MAC-hs reset indicator, serving HS-DSCH radio link indicator, HS-SCCH set info* y *H-RNTI.*

El Terminal finaliza toda transmisión y recepción de datos en el viejo enlace radio servidor de HSDPA en el momento indicado en el parámetro *Activation Time* y configura su capa física para empezar la recepción en el nuevo enlace radio. Después de que el proceso de sincronización del L1 en la nueva celda haya finalizado, el Terminal devuelve el mensaje RRC *Transport Channel Reconfiguration Complete* a la red UTRAN. A partir de ese instante, El SRNC termina toda transmisión y recepción en los canales dedicados DCH ↔ DCCH del viejo enlace radio y libera todos los recursos asignados al Terminal en cuestión.

Hay que tener en cuenta que en este ejemplo de traspaso inter-Nodo B que la transmisión/recepción de RLC-PDUs a través del canal HS-DSCH se interrumpe tanto en el SGSN como en el terminal antes de que se inicie la reconfiguración y continua una vez se complete la misma. Adicionalmente, se asume que el mensaje de *Transport Channel Reconfiguration* indica al terminal que la entidad MAC-hs debería ser reseteada y se reporta el estado de cada una de las entidades RLC asociadas con el canal HS-DSCH. Un reset en la entidad MAC-hs lleva consigo la entrega del contenido del buffer a capas superiores. Como el terminal cambia de Nodo B servidor, las retransmisiones de las PDUs residentes en la entidad MAC-hs de la celda origen que ya han reconocidas con NACK se van a perder al hacer el traspaso. De este modo, no es posible la combinación de los *soft bits* de las diferentes retransmisiones que se han recibido incorrectamente, ya que la nueva celda no puede obtener la información proporcionada por el proceso *HARQ preservation*, la cual sí existe en el caso de cambio de celda servidora HSDPA intra-Nodo B.

13. En el tiempo de activación indicado, el Terminal abandona el *Active Set* actual e inicia el establecimiento del canal dedicado DPCH en la celda destino. Cuando finaliza la sincronización en el nivel físico en dicha celda, el Terminal empieza la recepción y transmisión en el canal DCH y la recepción en el canal HS-DSCH.

Finalmente, el Terminal devuelve un mensaje RRC *Transport Channel Reconfiguration Complete* hacia el SRNC.

14. El SRNC finaliza el proceso enviando un mensaje NBAP *Radio Link Deletion Request* al Nodo B origen para la liberación de los recursos radio (DPCH y HS-PDSCHs).

15. El Nodo B origen libera los recursos radio y devuelve un mensaje NBAP *Radio Link Deletion Response* hacia el SRNC.

16. Finalmente el protocolo ALCAP libera los portadores de transporte en el interfaz Iub asociados a la transmisión de datos en el Nodo B origen, esto es, los asociados a los canales de transporte DCH y HS-DSCH.

6.1.2 Cambio de celda servidora HS-DSCH: Eventos 1A, 1B y 1C

Como hemos indicado con anterioridad, el Evento 1D se reporta cuando el Terminal quiere indicar a la Red que existe una celda HSDPA **dentro del *Active Set (AS)*** con un nivel de calidad mejor que la celda servidora HSDPA existente (también dentro del AS). Pero qué ocurre cuando la celda HSDPA reportada con mejor señal no está dentro del AS originariamente. Aquí el evento 1D carece de sentido.

Es fácil advertir que, en un sistema de telefonía móvil, el *AS* siempre está variando debido a la movilidad constante que presenta el usuario. En un momento determinado, el Terminal envía un *Measurement Report* al SRNC indicando cambios en su *Active Set (AS)*. A saber:

- Evento 1A: Adicción de un nuevo enlace radio al AS
- Evento 1B: Eliminación de un nuevo enlace radio del AS
- Evento 1C: Reemplazamiento de un enlace radio del AS

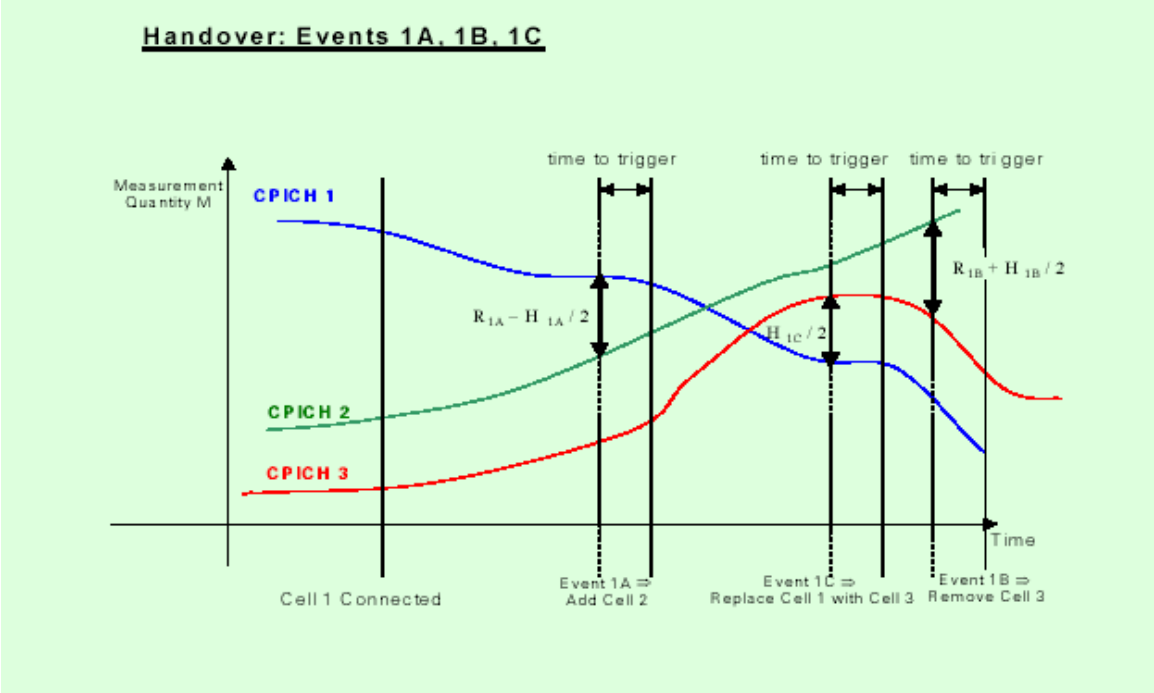


Figura 6 Modificación del Active Set en R'99 y R5

La calidad radio de cada celda medida por el Terminal y reportada en el *Measurement Report* está incluida dentro del elemento de información *Cell Measured Results*, concretamente en el parámetro CPICH Ec/No. A partir de ahí, si el SRNC confirma que la nueva celda HSDPA (no presente aún en el AS) es la que presenta mejor calidad radio, entonces inicia un procedimiento de cambio de celda servidora HS-DSCH.

Para evitar frecuentes conmutaciones de canal DCH ↔ HS-DSCH, aunque la nueva celda HSDPA sea la mejor, el canal HS-DSCH no será establecido en la nueva celda si la diferencia de calidad entre ella y la celda actual servidora HS-DSCH está por debajo de un umbral predefinido. De no ser así la tasa de transferencia podría verse mermada.

El SRNC sigue el siguiente procedimiento ante la llegada de un *Measurement Report* 1A, 1B o 1C:

1) El SRNC decide (o no) actualizar el AS de la misma forma que lo hace en la R'99.

2) El SRNC confirma si la celda servidora actual del canal HS-DSCH debe ser eliminada:

    a) Si la celda servidora actual no se elimina:

        i) Si la mejor celda desde el punto de vista radio es la servidora HSDPA actual o si la nueva celda es mejor pero la diferencia de calidad está por debajo del umbral predefinido, entonces el SRNC sólo actualiza el AS.

ii) Si la mejor celda desde el punto de vista radio no es la servidora HSDPA actual y la calidad de la nueva celda está por encima del umbral respecto a la calida de la actual servidora, entonces el SRNC:

(1) Si la celda nueva soporta HSDPA, el SRNC primero actualiza el AS y después realiza el cambio de celda servidora HS-DSCH.
(2) Si la celda nueva no soporta HSDPA, el SRNC primero actualiza el AS y después realiza un CTS desde HS-DSCH a DCH, lo que se conoce como *Outward* (ver punto 6.1.4).

b) Si la celda servidora actual se elimina, en primer lugar el SRNC **debe para la transmisión de datos** por el canal HS-DSCH.

i) Si la mejor celda soporta HSDPA, el SRNC primero actualiza el AS y después realiza el cambio de celda servidora HS-DSCH
ii) Si la mejor celda no soporta HSDPA, el SRNC primero actualiza el AS y después realiza un CTS desde HS-DSCH a DCH.

La señalización asociada a un cambio de celda servidora HS-DSCH es este caso es similar a la presentada en los casos del punto anterior, con la salvedad de que existe una actualización del AS antes de realizar el cambio de celda en sí. Presentemos un caso en el cual no se elimine la celda actual servidora de HSDPA. Por ejemplo, un caso en el que el Terminal reporta un evento 1A.

El SRNC incluye todos los parámetros que hacen referencia a HSDPA en los mensajes *Radio Link Reconfiguration Prepare* y *Transport Channel Reconfiguration* (ver los dos puntos anteriores para ver su contenido y función*)*, ya que éste es el primer establecimiento del canal HS-DSCH y tanto el Terminal como el Nodo B los desconocen.

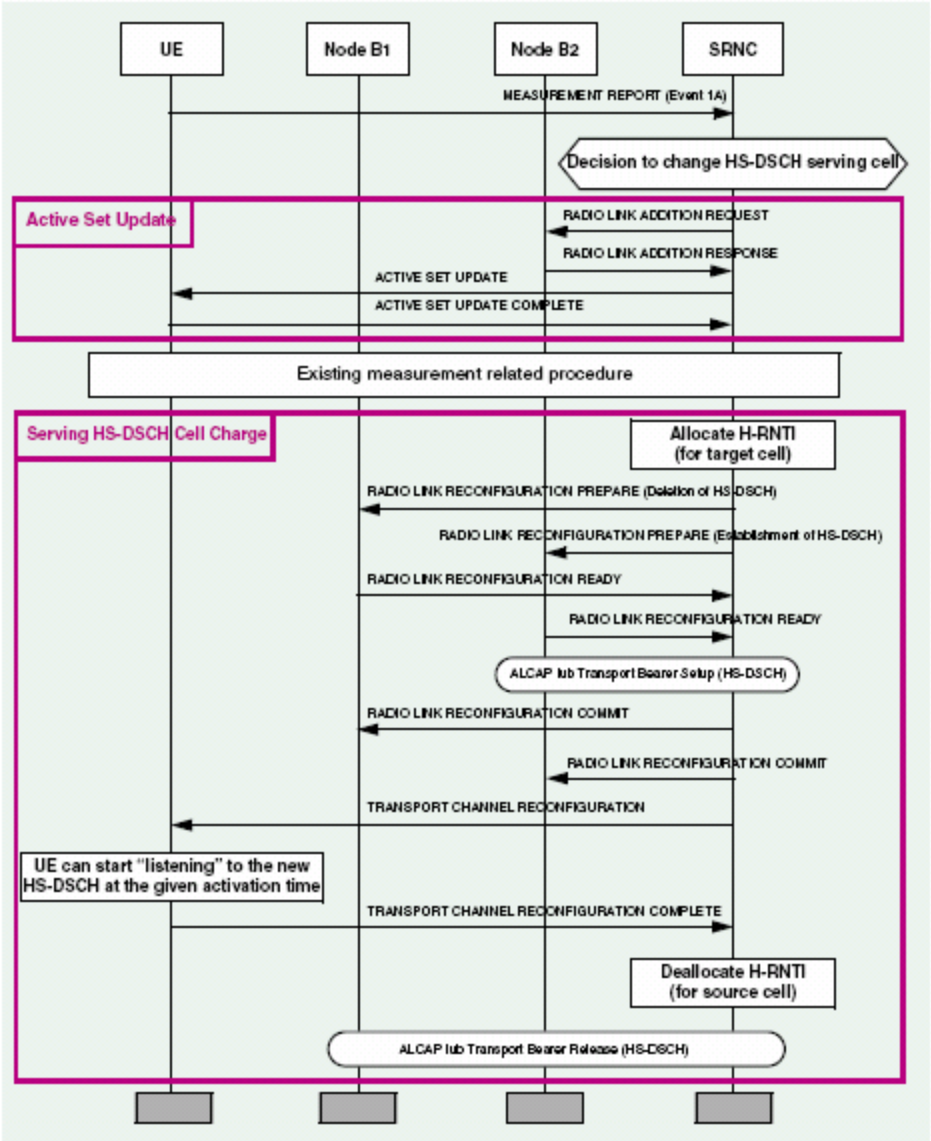


Figura 7 Cambio de celda servidora HS-DSCH después de Evento 1A

6.1.3 Inward (DCH → HS- DSCH)

Este procedimiento radio habilita que el Terminal pueda realizar un CTS desde DCH a HS-DSCH cuando entra en una zona de cobertura HSDPA desde una celda que soporta únicamente funcionalidades de la R'99.

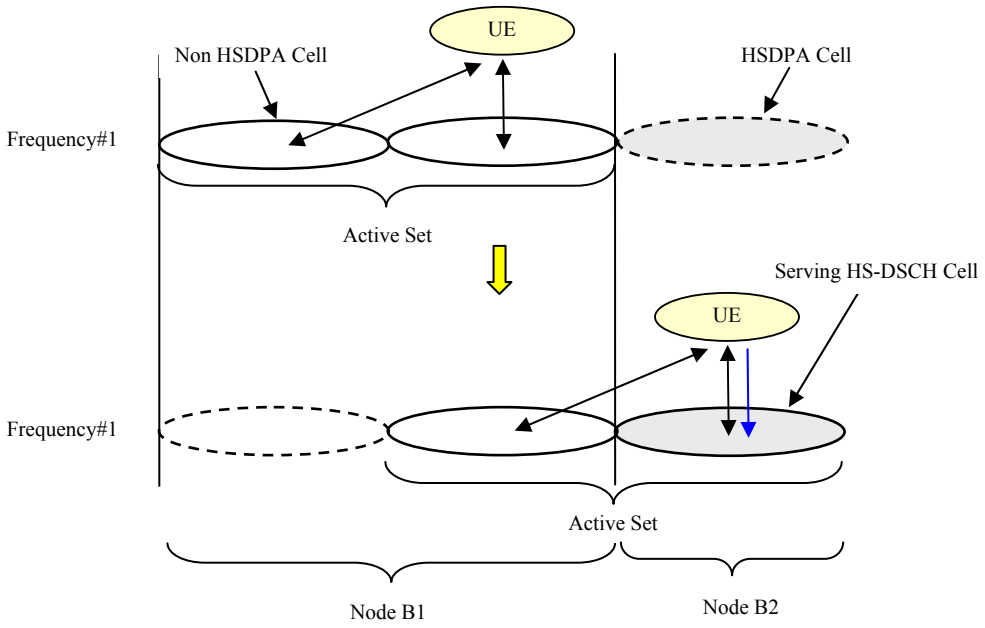


Figura 8 Inward

El Terminal se encuentra originariamente en una zona de cobertura cuyas celdas que componen el *Active Set* no soportan, ninguna de ellas, la funcionalidad HSDPA. En un momento determinado y debido a su movilidad, el Terminal envía un *Measurement Report* al SRNC indicando cambios en su *Active Set (AS)*.

Si el SRNC confirma que la nueva celda, la cual soporta HSDPA, es la que presenta mejor calidad radio, entonces inicia el siguiente proceso:

1. Primero realiza la actualización del AS
2. Después hace el CTS desde DCH a HS-DSCH estableciendo la celda HSDPA como la servidora del canal HS-DSCH y
3. Por último, envía un *Measurement Control* para configurar el Evento 1D en el Terminal. A partir de ahí, éste puede reportar cualquier cambio de celda servidora HS-DSCH.

Al igual que en punto anterior, existe una histéresis predefinida en el sistema para evitar frecuentes conmutaciones de canal DCH ↔ HS-DSCH.

El SRNC incluye todos los parámetros que hacen referencia a HSDPA en los mensajes NBAP *Radio Link Reconfiguration Prepare* y *RRC Transport Channel Reconfiguration* (ver los dos puntos anteriores para ver su contenido y función*)*, ya que éste es el primer establecimiento del canal HS-DSCH y tanto el Terminal como el Nodo B lo desconocen.

Si la condición de disparo del establecimiento del canal HS-DSCH fuesen los Eventos 1B o 1C, entonces la figura mostraría la eliminación del/los enlace/s radio/s en el Nodo

B1/Nodo B2 en el procedimiento de actualización del AS. Notad que no solamente es el Evento 1A genera este proceso, sino cualquier modificación en el AS. A partir de ahí, el SRNC analiza si dentro del nuevo AS hay alguna celda que pueda soportar HSDPA.

Apuntar que la modificación del DCH (DCCH + DTCH) en este caso siempre implica la eliminación del DTCH en DL, ya que los datos de usuario llegarán al usuario a través del canal HS-DSCH.

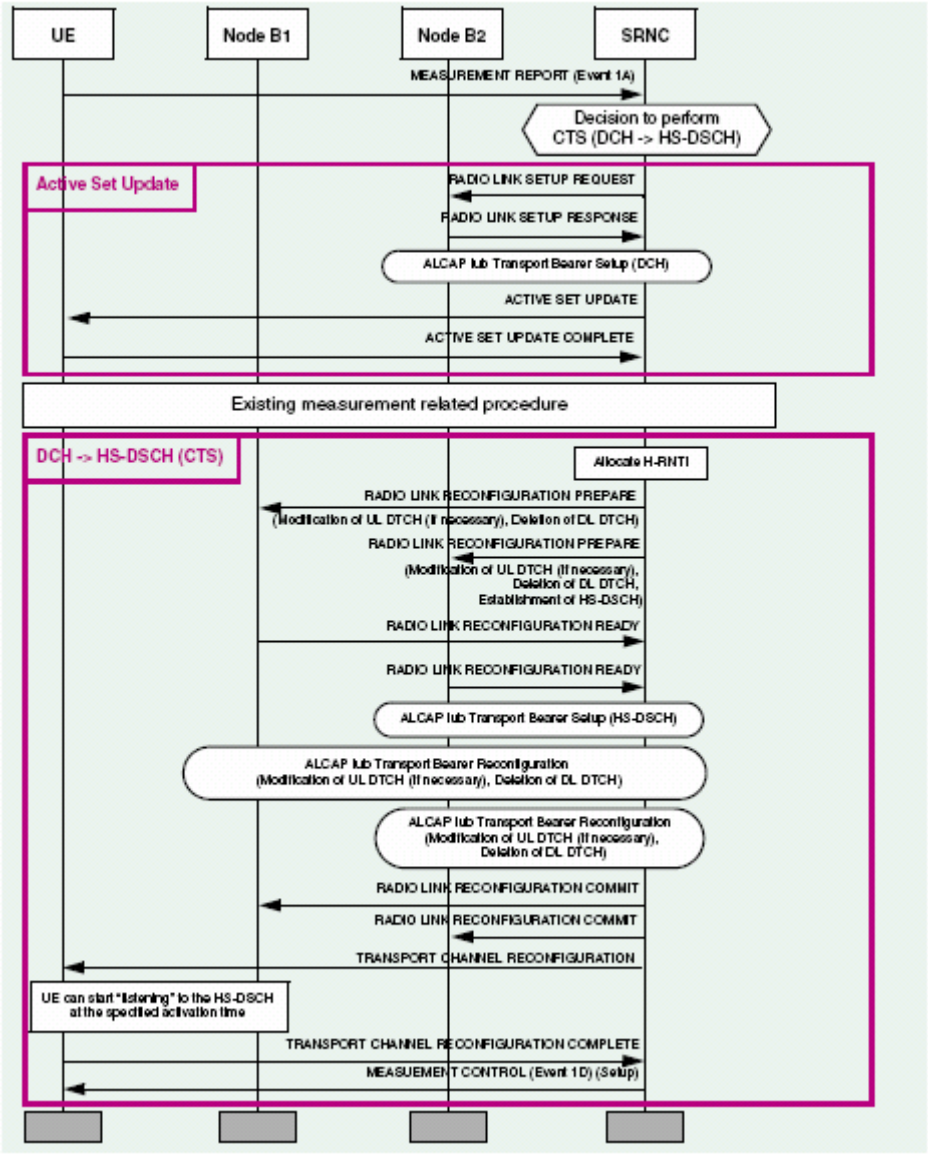


Figura 9 Señalizacion en Inward

Nota 1: Aunque no se muestre en la Figura 82 la señalización asociada al CRNC, como el *Bit Adaptation Rate (BRA)* no se aplica cuando se usa HS-DSCH, el CRNC envía un

mensaje *Dedicated Measurement Termination Request* al Nodo B en cuestión para que termine las medidas de TCP (*Transmitted Code Power*) una vez se haya instado al Terminal a medir el Evento 1D.

Nota 2: La tasa de UL DTCH cambia a 64 Kbps independientemente del que hubiere con anterioridad y el portador de transporte en el interfaz Iub también se modifica en consecuencia.

6.1.4 Outward (HS-DSCH → DCH)

Si la movilidad del usuario provoca que el Terminal vaya dejando un área donde originariamente está soportando HSDPA y entra en una zona cuyas celdas únicamente soporten funcionalidades de la R'99, esto dará lugar a que la calidad de éstas irá mejorando con respecto a aquella o que la celda HSDPA deba ser eliminada del *Active Set*. En ambos casos, se debe realizar un CTS desde HS-DSCH a DCH. Se puede dar entre dos frecuencias distintas o en le misma frecuencia. Nosotros nos centraremos en el caso intra-frecuencia. En la Figura 83, la línea azul indica la celda servidora del canal HS-DSCH, mientras que la roja indica la celda que sólo soporta R'99 (DCH).

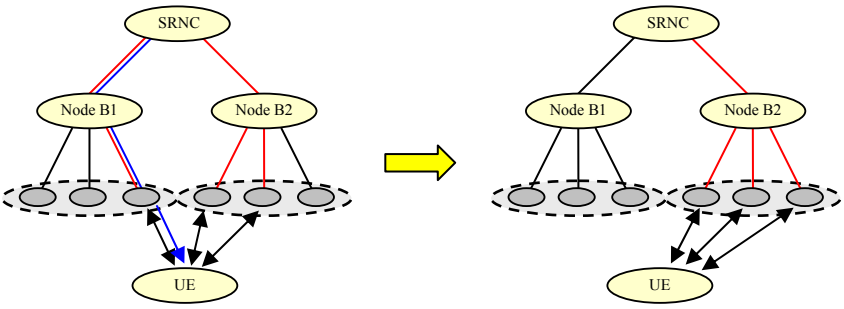


Figura 10 Movilidad Outward

Las condiciones que disparan este proceso son las siguientes:

1. Eventos 1A (1A'), 1B, 1C, 1D

La calidad de la celda no-HSDPA es mejor que la de las celdas HSDPA. Se produce un CTS de HS-DSCH a DCH.

2. Evento 1B o 1C

Cuando ninguna celda de las que componen en AS soporta HSDPA.

3. Evento 2D/2D'/2D''

Cuando el Terminal entra en modo comprimido (porque cumple la condición de disparo para el Evento 2D), si durante ese tiempo la calidad de la celda servidora HS-DSCH es

peor que la calidad de las celdas no-HSDPA, entonces se produce un CTS de HS-DSCH a DCH.

En la siguiente figura se muestra la señalización asociada a este procedimiento. Después de la actualización del AS se elimina la celda servidora actual de HS-DSCH. Para minimizar la pérdida de datos, el SRNC debe parar la transmisión en el canal HS-DSCH DATA FRAME antes de realizar el CTS.

El proceso es similar al presentado en el *Inward:*

1. Primero realiza la actualización del AS
2. Después hace el CTS desde HS-DSCH a DCH y
3. Por último, envía un *Measurement Control* para que el Terminal olvide el Evento 1D.

En el mensaje NBAP *Radio Link Reconfiguration Prepare,* el SRNC indica el Nodo B que modifique las características del canal de transporte DCH. Creará el DTCH en el DL y modificará o no el DTCH en UL. Con el mensaje *RRC Transport Channel Reconfiguration,* el Terminal sabe cuándo puede empezar a escuchar el DCH gracias al tiempo de activación.

Nota: En respuesta al argumento expuesto en el punto anterior, ya que el *Bit Adaptation Rate (BRA)* se aplica cuando se usa DCH, el CRNC envía un mensaje *Dedicated Measurement Initiation Request* al Nodo B en cuestión para que inicie las medidas de TCP (*Transmitted Code Power*) una vez se haya liberado al Terminal de medir el Evento 1D.

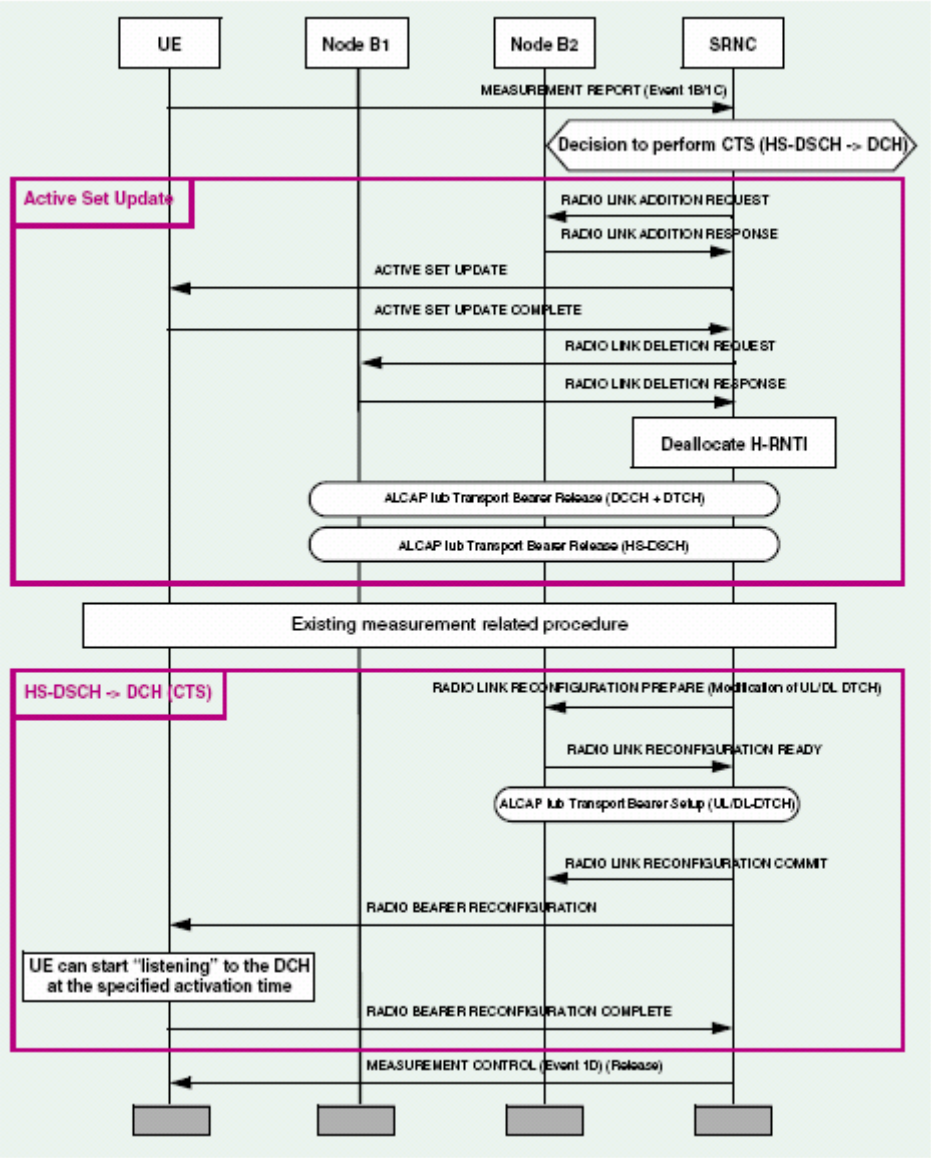


Figura 11 Señalización en Outward

6.2 Gestión de potencia en HSDPA

Las principales características de HSDPA son las siguientes:

- Tráfico de paquetes en DL sobre un canal compartido entre varios usuarios
- Priorización de recursos radio a favor del tráfico R'99. HSDPA es *best effort* y utiliza los recursos sobrantes que quedan en la celda después de asignar el tráfico R'99.

La gestión de potencia del Nodo B es, sin lugar a dudas, el aspecto más importante en una Red HSDPA. Todos los esfuerzos de los distintos proveedores de servicios y productos HSDPA están centrados en optimizar la gestión de potencia del Nodo B, ya que incide directamente en la efectividad tanto de usuarios HSDPA como de usuarios R'99 con servicios de voz o datos recibiendo en la misma celda.

En principio, se puede decir que HSDPA **no soporta control de potencia** tal y como se concibe en R'99 ya que dispone de otras herramientas que son más eficaces a la hora de afrontar los problemas que se presentan en un sistema WCDMA.

Antes de avanzar en aspectos que hacen referencia únicamente a HSDPA, es conveniente repasar la gestión de potencia en los sistemas actuales WCDMA o UMTS.

6.2.1 Gestión de potencia en UMTS (R'99)

Un control de potencia rápido y eficaz es quizás la clave para que un sistema UMTS sea viable, sobre todo en el enlace ascendente. Si no existiese, un simple Terminal que transmitiese por encima de la potencia adecuada podría bloquear toda la celda. Imaginemos que tenemos dos terminales operando en la misma celda y a la misma frecuencia, separados en el Nodo B únicamente por sus respectivos códigos de ensanchamiento. Puede ocurrir que el Terminal 1 sufra pérdidas si está en el borde de la celda, pongamos 70 dB por debajo del Terminal 2, el cual está cerca del Nodo B. Si no hubiese un mecanismo que equipare el nivel de potencia recibido de ambos terminales en el Nodo B, el Terminal 2 podría fácilmente inhibir al Terminal 1, bloqueando así gran parte de la celda. Es lo que se conoce como el **problema cerca-lejos** en WCDMA. La estrategia óptima para maximizar la capacidad del sistema es igualar la potencia recibida por bit de todos los terminales y en todo momento.

Además, el control de potencia ayuda a incrementar la batería del Terminal, ya que controla su consumo de potencia en UL hasta los niveles necesarios.

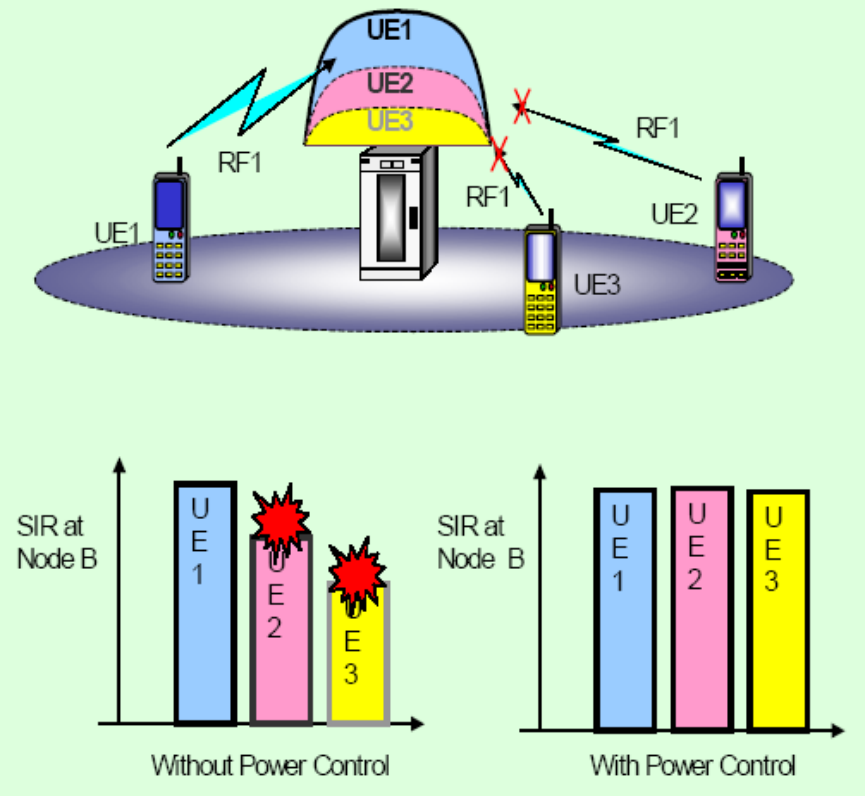


Figura 12 Problema cerca-lejos en WCDMA

El principio del control de potencia es adaptar la potencia de transmisión para conseguir una calidad de servicio QoS pactada, que viene definida por un BLER o BER (tasa de error de bit), tanto en el enlace ascendente como en el descendente. Se define un BLER por cada uno de los portadores de acceso radio (*RAB, Radio Access Bearer*) existentes en UL y en DL.

La adaptación es necesaria debido a que la propagación de la señal por el canal radio está sujeta a varias condiciones, las cuales generalmente varían en espacio y/o tiempo:

- *Path loss*
- Desvanecimiento a largo plazo
- Desvanecimiento a corto plazo
- Velocidad del Terminal
- Localización (*outdoor, indoor*, en el coche, etc)

El mecanismo de control de potencia adapta la potencia de transmisión con una frecuencia de 1500 Hz, esto es, cada 0,667 milisegundos. De ahí el concepto de *Fast Power Control*. De esta manera, UTRAN es capaz de paliar los efectos de desvanecimiento a corto plazo que puedan ocurrir. Incluso las fluctuaciones especialmente bruscas y repentinas pueden ser compensadas incrementando la potencia

de transmisión, sobre todo si hablamos de terminales que se muevan a una velocidad baja.

El Nodo B no dispone de una potencia ilimitada. Una potencia típica suele ser 43 dB, esto es, 20 W. Toda esa potencia debe abastecer las necesidades de cada uno de los usuarios, teniendo en cuenta sus condiciones radio (localización, distancia al Nodo B, …) y la calidad de servicio esperado.

Del mismo modo, la potencia del Terminal está también limitada. Según la categoría del Terminal, éste puede transmitir 21 ó 24 dBm.

¿Dónde se aplica en Control de Potencia?

Siempre que hablamos de control de potencia en UMTS nos referimos al control sobre los bits de datos transmitidos en los canales dedicados a una conexión concreta (bits dedicados por extensión). Tal y como vemos en la Figura 86, en DL estos bits de datos dedicados están en el campo *Data1 y Data2*. Los demás bits *TFCI , TPC y Pilots* no están directamente expuestos a los comandos de control de potencia, sino que se transmiten a la potencia de los bits de datos más un *offset* PO1, PO2 y PO3 respectivamente. Todos ellos componen el canal físico **Dedicated Physical Channel (DPCH).**

Nota: Se suele hablar de dos canales físicos dedicados en DL para separar la información de control y los datos de usuario, DL-DPCCH y DL-DPDCH respectivamente. Pero se ha de tener en cuenta que no existen como tal, ya que en DL sólo hay un canal físico dedicado, el DPCH, el cual lleva datos de usuario e información de control.

Por el contrario, en UL sí existen dos canales físicos para transportar la información dedicada: un canal lleva los datos dedicados, el **Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)** y otro lleva la información de control dedicada, el **Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)**. Al igual que anteriormente, únicamente los bits de datos dedicados, el canal DPDCH, están expuestos a los comandos de control de potencia. La información de control dedicada, el canal DPCCH, se transmite a la potencia de los bits de datos dedicados más un *offset* PO1, PO2 y PO3 respectivamente.

Los canales DPDCH y DPCCH se transmiten simultáneamente multiplexados en código y con diferente fase: I&Q.

La potencia de transmisión del canal DL-DPDCH, expuesta a control por el UTRAN, está acotada a un máximo y a un mínimo, los cuales son fijados por el RNC en el Nodo B a través de procedimientos NBAP.

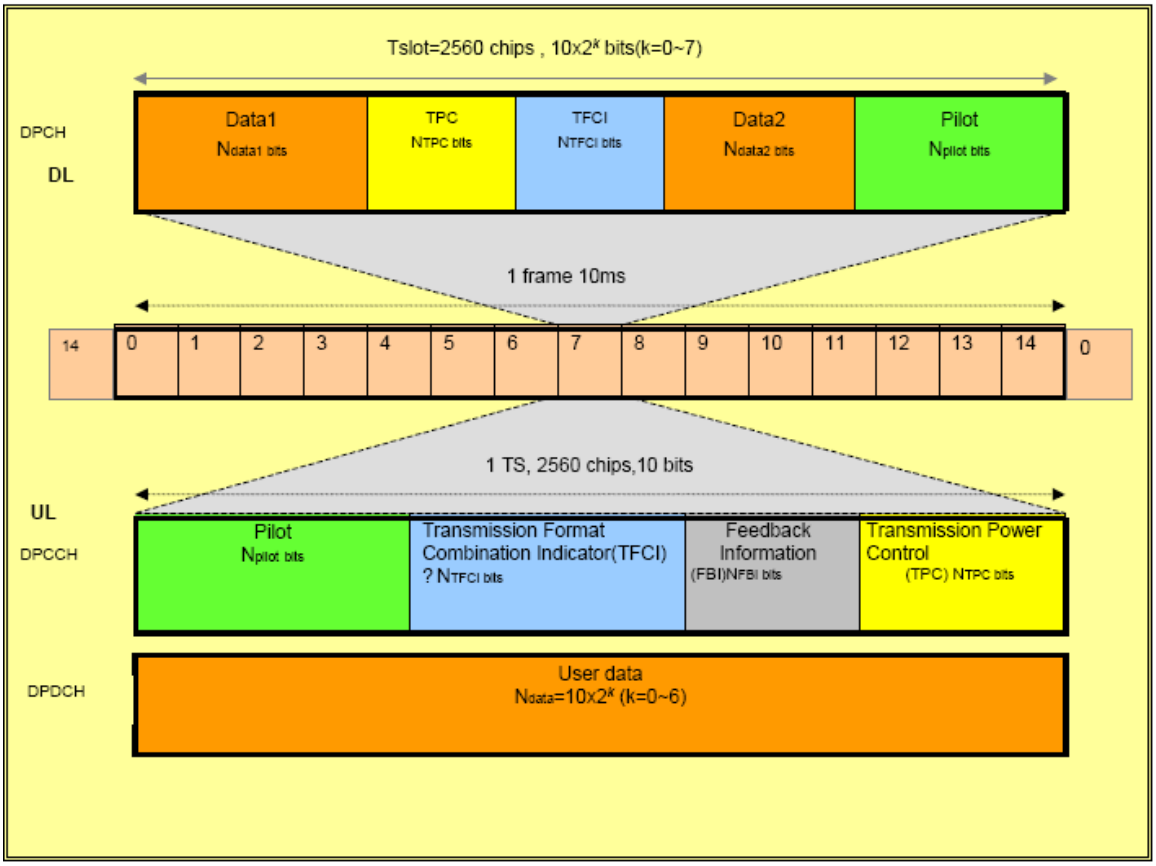


Figura 13 Canales físicos dedicados en DL y UL

Técnicas de Control de Potencia

El control de potencia en un sistema WCDMA con acceso FDD se basa en las siguientes funciones:

- **Open Loop Power Control**

Se aplica tanto en el Nodo B como en el Terminal. Esta técnica se usa en WCDMA para configurar un valor inicial de la potencia de transmisión del Terminal al principio de la conexión. Éste transmite su señal con un nivel de potencia recíproco al nivel de la señal que ha recibido en DL. Se utiliza en canales donde no es posible aplicar el *closed loop power control.* Este método simplemente se utiliza para intentar estimar las pérdidas que el canal radio puede introducir al principio de la conexión, ya que no tenemos ninguna otra información previamente. Pero esta técnica presenta unos índices de imprecisión importante que la hacen inadecuada para UMTS. La principal razón es que el desvanecimiento a corto plazo está esencialmente incorrelado entre el DL y el UL debido a la gran separación en frecuencia entre sus bandas en el modo FDD. La solución la encontramos en el *closed loop power control.*

- **Closed Loop Power Control**

El Nodo B mide el SIR (*Signal to Interference Ratio*) de las señales piloto dedicadas, las compara con el SIR objetivo (definido en la Base de Datos del RNC y definido por el Operador) y a partir de ahí controla al Terminal para que incremente o disminuya su potencia de transmisión. Si el SIR medido es más alto que el SIR objetivo, el Nodo B ordenará al Terminal que reduzca su potencia. Si por el contrario es más bajo, le ordenará que la incremente. Hay dos tipos:

- ***Inner Loop Power Control***, donde el control se realiza después de la comparación entre el SIR medido y el SIR objetivo.
- ***Outer Loop Power Control,*** en el cual el SIR objetivo se ajusta en el Nodo B conforme a las necesidades de cada enlace radio individual, con el objeto de mantener el BLER (o BER) en unos niveles constantes. Los valores de BLER se obtienen a partir del CRC. Esta técnica es necesaria tanto en UL como en DL.

  Como se observa en la figura 87, el Nodo B mide el SIR y lo compara con el SIR objetivo para que, autónomamente, modifique el nivel de potencia transmitida, bien la del Terminal o bien la suya propia, según hablemos de control de potencia en UL o DL respectivamente. Pero es el RNC quien le indica al Nodo B ese SIR objetivo en función del BLER obtenido. El BLER objetivo se configura en Base de Datos del RNC para cada portador radio o RAB, tanto para UL como para DL. También se configura el SIR inicial (el usado en el *Inner Loop Power Control*), que será el valor base sobre el cual el RNC incrementará o disminuirá el SIR objetivo. Este SIR objetivo es enviado al Nodo B a través de señalización.

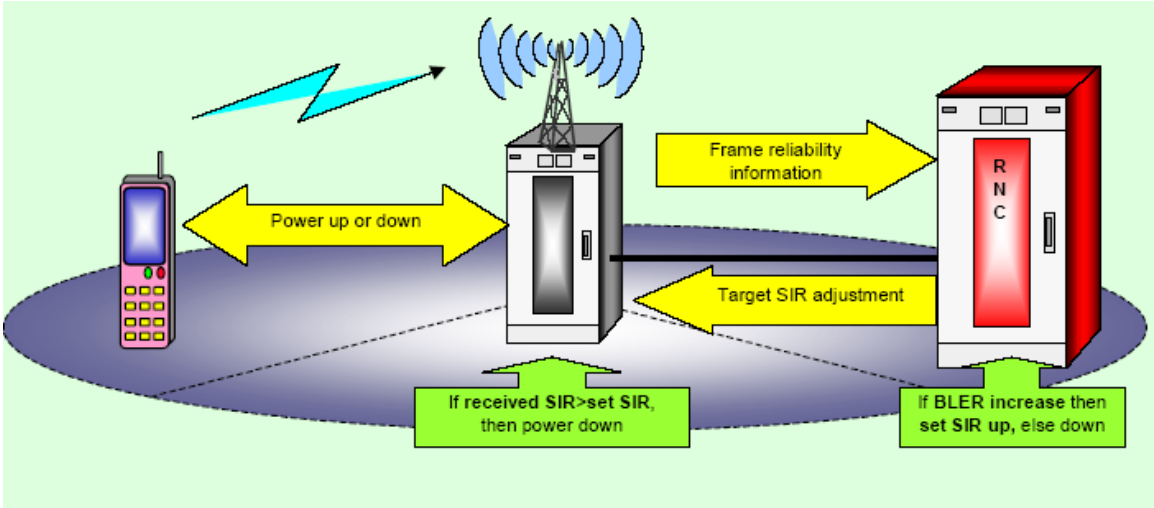


Figura 14 Outer Loop Power Control

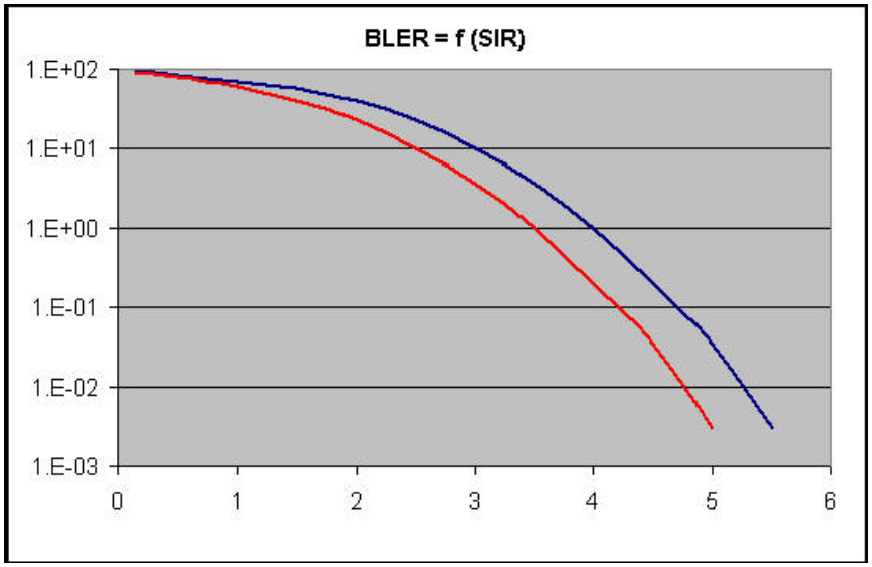


Figura 15 BLER en función del SIR

La fórmula matemática que relaciona el SIR y el BLER, según las especificaciones IS-95, es la siguiente:

$$SIR_{\mathrm{OLPC,target}} := \begin{cases} SIR_{\mathrm{OLPC,target}} + \Delta, & \text{if CRC of the DCH is not ok,} \\ SIR_{\mathrm{OLPC,target}} - \dfrac{\Delta \cdot BLER_{\mathrm{target}}}{1 - BLER_{\mathrm{target}}}, & \text{if CRC of the DCH is ok.} \end{cases}$$

En realidad, los valores de SIR objetivo están acotados entre un máximo y un mínimo de la siguiente forma:

$$SIR_{\mathrm{OLPC,target}} := \begin{cases} \min(SIR_{\mathrm{OLPC,target}} + \Delta, SIR_{\mathrm{target,max}}), & \text{if CRC of the DCH is not ok,} \\ \max(SIR_{\mathrm{OLPC,target}} - \dfrac{\Delta \cdot BLER_{\mathrm{target}}}{1 - BLER_{\mathrm{target}}}, SIR_{\mathrm{target,min}}), & \text{if CRC of the DCH is ok.} \end{cases}$$

- **Common Channel Power Control**

Los canales comunes, a saber, *Broadcast Channel, Forward Access Channel, Paging Channel, Random Access Channel, Downlink Shared Channel*, no necesitan un control de potencia dinámico, ya que se usan por todos los usuarios acampados en la celda antes de establecer un enlace radio, independientemente de si están cerca o lejos del Nodo B. No

pueden sufrir variaciones en el nivel de potencia porque se debe garantizar que llega con suficiente nivel en toda la celda. De ahí que su nivel de potencia sea fijo y configurable por el operador en la Base de Datos del RNC (un *offset* sobre el piloto CPICH).

6.2.2 Gestión de potencia en R'5

El control de potencia en R5 difiere del expuesto en el punto anterior, ya que en una celda coexisten tanto usuarios R'99 como usuarios HSDPA, con lo que la gestión de recursos del Nodo B es sustancialmente distinta. Como sabemos, existen 3 nuevos canales radio en HSDPA, a saber, HS-PDSCH, HS-SCCH y HS-DPCCH. No todos ellos están sujetos al control de potencia. Por una parte, debemos distinguir entre los canales que sufren control de potencia y los que, por el contrario, no la sufren. Por otra parte, debemos conocer cómo el Nodo B distribuye la potencia de transmisión de la que dispone en DL para dar servicio tanto a los usuarios R'99 como a los usuarios HSDPA.

Abordaremos en primer lugar la asignación de potencia que realiza en Nodo B cuando en la celda coexisten usuarios de R'99 y HSDPA o R5

6.2.2.1 HSDPA no soporta Control de Potencia

Una llamada de datos en UMTS R'99 se soporta a través del canal de transporte DCH, dedicado para cada conexión, sobre la cual puede ir también una llamada de voz simultáneamente. Como hemos visto en el punto anterior, el canal físico que soporta DCH, el DPCH, sufre control de potencia. Debido al control de potencia, nos podemos encontrar con reducciones de potencia del orden de 20 dBs en DL y de 70 dBs en UL. El hecho de que tengamos restringida la reducción de potencia en DL a 20 dBs se debe a dos motivos: primero porque el Nodo B está limitado y no es capaz de reducir más la potencia. Y segundo porque existe un fenómeno de interferencia intracelda que hemos de tener en cuenta. La interferencia intracelda ocurre entre dos usuarios que están en la misma celda con códigos de canalización paralelos. La interferencia se produce debido a los distintos retrasos de propagación en DL, ya que los códigos ortogonales transmitidos desde el Nodo B pierden su ortogonalidad cuando llegan al Terminal debido a los diferentes retrasos que sufren. Cuando un usuario está cerca del Nodo B, la reducción de potencia está limitada a 20 dBs para evitar que no tengan reducciones de potencia drásticas que afecten a su relación señal a ruido.

Una llamada de datos HSDPA se soporta a través de un nuevo canal de transporte compartido en el enlace descendente llamado HS-DSCH, que llevará los paquetes de datos de usuario que existen en el canal lógico DTCH, que en R'99 eran transportados a través del canal de transporte DCH (la señalización que va en el canal lógico DCCH continua siendo transportada en el DCH). El canal de transporte compartido HS-DSCH es soportado en el Interfaz Radio a través de los canales físicos HS-PDSCHs, los **cuales no sufren el control de potencia**, sino que están limitados por la potencia máxima que el

Nodo B puede dar a cada usuario HSDPA, definido en Base de Datos del RNC como un *offset* sobre el canal piloto CPICH. Esa potencia máxima por usuario, por ejemplo, 4 Vatios, se distribuye entre todos los canales radio HS-PDSCHs que simultáneamente llevan datos al usuario en un TTI determinado. El número de canales lo decide el Nodo B en función del algoritmo de Accesibilidad aplicado (*Scheduling*). En recepción, el Terminal intenta decodificar los paquetes. El BLER objetivo es fijo y su valor es 10%. Después del procesamiento del CRC, si el BLER obtenido es menor que el BLER objetivo, el Terminal envía un ACK a través del canal físico HS-DPCCH en UL. En caso contrario envía un NACK.

Se podría pensar que la falta de control de potencia en HSDPA pudiese reducir la capacidad del sistema, ya que el control de potencia en un sistema WCDMA/UMTS atiende a una serie de restricciones en el Interfaz Aire que HSDPA también debe abordar. ¿Cómo lo afronta HSDPA?

HSDPA utiliza *link adaptation* y AMC para seleccionar una combinación de código y modulación que requiera un Ec/No (Energía de Chip/Ruido) más alto, condición que sólo cumplen los usuarios que están más cerca del Nodo B. Con esta técnica no sólo prescindimos de la necesidad de controlar la potencia en DL, sino que además proporcionamos al usuario una tasa de transferencia adicional sin coste. Para mantener el uso eficiente del espectro el usuario puede utilizar hasta 15 códigos simultáneamente. Además, hemos de puntualizar que HSDPA puede usar una modulación 16QAM en el Interfaz Radio, la cual requiere estimaciones de amplitud por el receptor, por lo que no se puede usar control de potencia sobre los canales físicos que transportan la información en HSDPA. En respuesta a la técnica del Factor de Ensanchamiento variable, HSDPA usa una codificación más robusta, emplea la técnica HARQ e introduce una mejora de la operación multicódigo.

6.2.2.2 Asignación dinámica de potencia en HSDPA

Normalmente un canal DCH de R'99 lleva portadores de radio o *RABs* cuya información tiene una prioridad mayor que la transportada en una llamada de paquetes (*interactive o background*) en HSDPA. De ahí que el estándar haya asumido que los canales DCH y CCH de R'99 tengan prioridad sobre los de HSDPA.

La potencia para HSDPA se asigna de forma dinámica a partir del uso que están haciendo los canales DCHs y CCHs de la misma. Dicho de otra forma, HSDPA usa la potencia de transmisión del Nodo B que no está siendo utilizada por los canales DCHs y CCHs.

En la Figura 89 vemos cómo el Nodo B asigna la potencia en DL. Hemos de puntualizar varios aspectos:

- El uso de los recursos radio es más efectivo, ya que el Nodo B siempre estará utilizando una potencia en DL cercana a su máximo.

- No hay necesidad de asignar un valor de potencia fijo para los canales de HSDPA, lo cual evita la posibilidad de una posible degradación del sistema HSDPA y un mal funcionamiento del sistema desde el punto de vista de R'99, el cual, recordemos, es prioritario sobre el primero. Así, necesitamos que el sistema sea capaz de dar a los canales DCHs toda la potencia que sea necesaria.

- La potencia disponible para HSDPA es dinámica y es controlada por el Nodo B. Su entidad MAC-hs, concretamente el Programador de Accesibilidad o *Scheduler* se encarga de controlar esa potencia remanente para HSDPA.

- Análogamente, la potencia asignada a los canales dedicados DCHs para paquetes y voz; y la potencia asignada a los canales comunes CCHs es controlada por el RNC. Como hemos dicho, los canales DCHs sufren control de potencia, mientras que los CCHs tienen una potencia de transmisión fija.

o

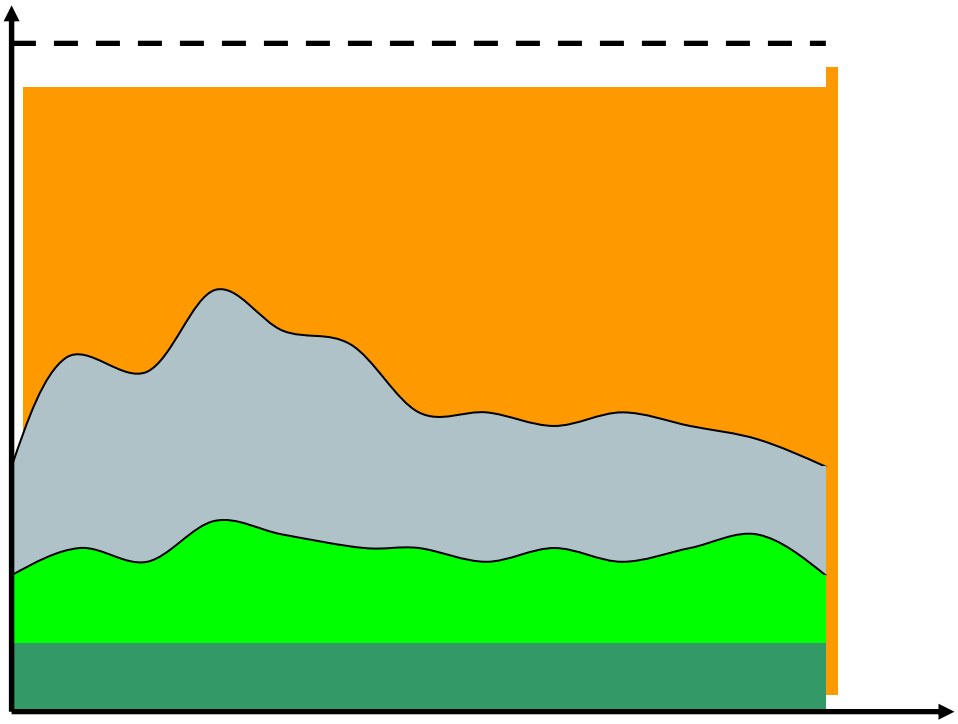


Figura 16 Asignación de Potencia en HSDPA

6.2.2.2.1 Definición NHP y TCP

Antes de continuar es necesario introducir una serie de definiciones:

- **NHP (Non HSDPA Power)** indica la relación entre la potencia asignada a los canales DCHs y CCHs de R'99 y la potencia máxima de transmisión del Nodo B. Esto es, es la potencia de todos los códigos de canalización utilizados simultáneamente, con la exclusión de aquellos destinados a transmitir los canales HS-PDSCH y HS-SCCH.

$$NHP = Pot_{nonHSDPA} / Pot_{max}$$

- **TCP (Transmitted Carrier Power)** indica la relación entre la potencia utilizada, incluida la asignada a los canales DCHs y CCHs de R'99, y la potencia máxima de transmisión del Nodo B.

6.2.2.2.2 Reporte de medida NHP del RNC al Nodo B

A través del procedimiento NBAP *Common Measurement Initiation* el RNC indica al Nodo B cada cuánto tiempo debe éste reportarle una serie de medidas básicas que el RNC usa como entradas en sus algoritmos de control de admisión y congestión. Básicamente son dos medidas:

- RTWP *(Received Total WideBand Power)*, que es una medida de carga/interferencia en UL. Mide la potencia de señal que recibe la antena del Nodo B en toda la banda de 5 MHz.
- TCP, que se ha visto anteriormente en DL.

Un valor típico del tiempo entre dos reportes es 10 segundos. Entonces, cada 10 segundos el Nodo B reportará al RNC estos dos valores a través de un mensaje NBAP *Common Measurement Report*. Este periodo es configurable en Base de Datos del RNC.

En celdas que soportan HSDPA, ya no tiene sentido hablar de TCP sino de NHP. De modo que, en una celda HSDPA, en el mensaje NBAP *Common Measurement Report* el Nodo B reportará el valor de NHP en lugar de TCP.

Existe un nuevo elemento de información o *IE* incluido dentro de un nuevo procedimiento NBAP, el *Physical Shared Channel Reconfiguration*, a partir del cual el RNC indica al Nodo B la potencia de transmisión disponible para HSDPA. El nuevo IE al cual nos referimos es el *HS-PDSCH And HS-SCCH Total Power.* En cualquier caso, la norma general es que el Nodo B asuma que toda la potencia de transmisión no utilizada

(NHP) está disponible para los códigos de canalización sobre los que van a enviarse los canales HS-PDSCH y HS-SCCH.

6.2.2.2.3 Cálculo del NHP en el Nodo B

El Nodo B no puede extraer de una forma directa el NHP debido a que las entidades de control de potencia de los canales DCHs están en el Nodo B. De modo que se debe calcular de una forma indirecta a través de la siguiente fórmula:

$$NHP = TCP - Pot_{HSDPA}$$

, donde Pot_{HSDPA} es igual a la potencia transmitida de todos los códigos HS-PDSCH y HS-SCCH:

$$Pot_{HSDPA} = \sum P_{HS\text{-}PDSCH} + \sum P_{HS\text{-}SCCH}$$

6.2.2.2.4 Cálculo de potencia HSDPA disponible

La potencia de transmisión disponible para HSDPA está a disposición del Nodo B cada 100 milisegundos y se determina a partir de la siguiente fórmula:

Caso de aplicar QPSK:

HSDPA Tx power [Watt] = max. cell Tx power [Watt] – NHP – power margin

Caso de aplicar 16 QAM:

HSDPA Tx power [Watt] = max. cell Tx power [Watt] – NHP – power margin – power reduction for 16 QAM

En el caso de que estos cálculos den como resultado una potencia HSDPA total de 0 Watts o un valor negativo, el Nodo B no programará ninguna transmisión HSDPA.

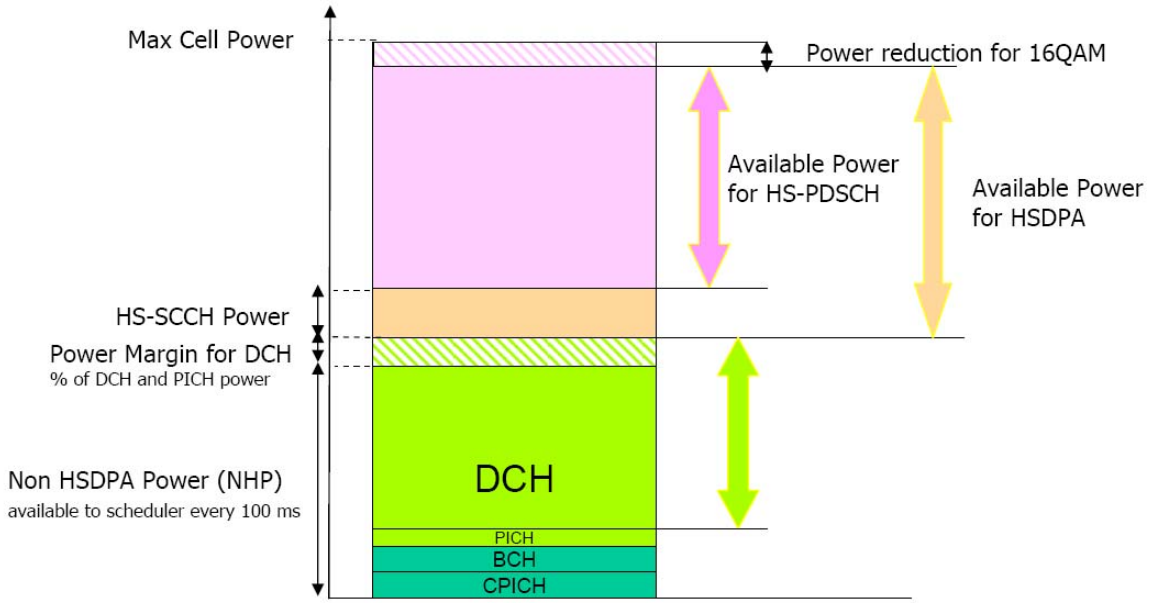


Figura 17 Potencia disponible para HSDPA

- ***Power Margin***

Para "proteger" la potencia de R99 se establece un margen de potencia adicional que queda como reserva por si hubiera que aumentar de forma repentina la potencia de los canales DCHs de R99. Recordemos que R'99 es prioritario sobre HSDPA.

El margen se define en Base de Datos del Nodo B en dBs (*Tx carrier power margin*). Un valor típico es 0,5 dB ó 1 dB. Pero no pensemos que estamos reservando tantos dBs por encima de la potencia total de los canales DCHs, sino que en realidad, el *power margin* hace referencia a un porcentaje de la potencia consumida por los canales DCHs y por el PICH. En la Figura 91 vemos como efectivamente la potencia reservada no es fija, sino que aumenta conforme la suma de potencia de DCH y PICH es mayor.

Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

Power margin [Watt] = ((NHP [Watt] – CPICH power [Watt] – BCH power [Watt]) [dBm] + Tx carrier power margin [dB]) [Watt] – (NHP [Watt] – CPICH power [Watt] – BCH power [Watt])

Expresado de diferente forma:

*Power margin [Watt] = (Tx carrier power margin [lineal] - 1) * (DCH + PICH power) [Watt]*

Ejemplo:

Si tenemos un *Tx carrier power margin* de 0,5 dBs en la Base de Datos del Nodo, significa que tenemos:

*Power margin [Watt] = (1,122 - 1) * (DCH + PICH power) [Watt]*
Power margin [Watt] = 12,2% de (DCH + PICH power) expresada en Watts.

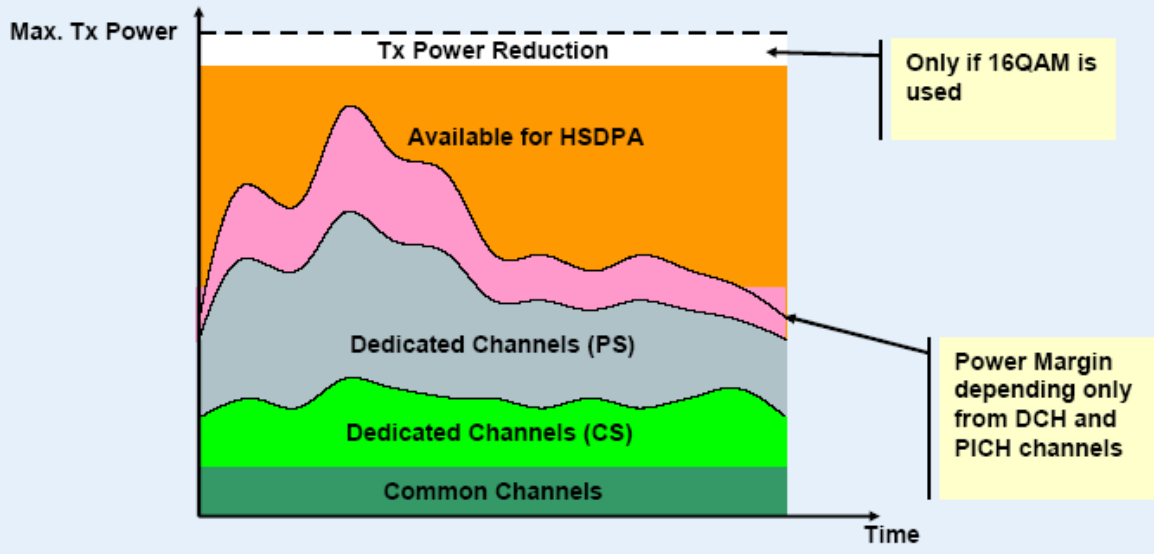


Figura 18 Power Margin

- ***Power Reduction***

Sólo si se utiliza una modulación 16 QAM se debe aplicar una reducción de potencia de transmisión para reducir el EVM (*Error Vector Magnitude*), conforme al 3GPP.

Ni los canales dedicados DCHs ni los canales comunes CCHs están afectados por esta reducción de potencia. Únicamente están afectados los canales físicos HS-PDSCHs modulados en 16 QAM.

EVM mide la diferencia entre la forma de onda de referencia y la forma de onda medida en recepción.. El estándar define que no se debe sobrepasar un EVM mayor de 17,5%.

La reducción de potencia se define en Base de Datos del Nodo B en dBs (*Tx carrier power reduction*). Un valor típico es 0,5 dB ó 1 dB.

Veamos un ejemplo de cálculo:

Power reduction for 16QAM [Watt] = max. cell Tx power [Watt] – (max. cell Tx power [dBm] - Tx carrier power reduction [dB]) [Watt]

Power reduction for 16QAM [Watt] = 20 [Watt] – (43 dBm - 1dB) [Watt]

como 42 dBm → 15,85 W, entonces:

Power reduction for 16QAM [Watt] = 20 [Watt] – 15,85 [Watt] = 4,15 W

- ***Ejemplo de Cálculo***

A continuación se muestra un ejemplo de cálculo, con las entradas siguientes.

		Offset	dBm	W	
Max TRX power for Cell	max_dltp	NA	43	20,0	
Pilot channel	pwr_pcpit	NA	33	2,0	
Broadcast channel	po_bch	-3	30	1	
PICH	po_pich	-3	30	1	
FACH	mfachp	-3	NA	-	Not included in calculation
Paging channel	po_pch	-3	NA	-	
AICH		-3	NA	-	
Total common channels for HSDPA power evaluation				4	
Release 99 power		NA	0	0,0	
				4	**Total NHP**

Power Margin = 0

Power Reduction = 0

Figura 19 Ejemplo de Cálculo Potencia disponible para HSDPA

Aplicando la fórmula se obtiene la siguiente potencia:

HSDPA Tx power [Watt] = max. cell Tx power [Watt] – NHP – power margin – power reduction for 16 QAM

Cálculo de NHP

$$NHP = NHP{=}TCP - Pot_{HSDPA}$$

$Pot_{HSDPA} = 0$, *ya que suponemos que no hay usuarios HSDPA en la celda*

$$TCP = Pot_DCH + Potencia\ Piloto + Pot_CCH$$
$$TCP = 0 + pwr_pcpit + (pwr_pcpit + po_bch) + (pwr_pcpit + po_pich)$$
$$= 33\ dBm + 30\ dBm + 30dBm \rightarrow 2 + 1 + 1\ Watts = 4\ Watts$$

, donde suponemos que no hay usuarios R'99 conectados (Pot_DCH = 0)
pwr_pcpit es la potencia del piloto
po_bch es el *power offset* sobre la piloto del canal BCH
po_pich es el *power offset* sobre la piloto del canal PICH

, entonces

HSDPA Tx power [Watt] = 20 – 4 – 0 – 0 = 16 Watts, disponibles para HSDPA.

6.2.2.2.5 Nivel de potencia HS-SCCH

El canal HS-SCCH sí sufre control de potencia, ya que su nivel de potencia es un *offset* , típicamente 3 a 6 dBs, sobre el nivel de potencia de transmisión de los *bits piloto* del canal DL-DPCCH. Estos *bits piloto* se transmiten en DL con la misma potencia que los bits de datos del canal DL-DPDCH (los cuales sufren directamente el control de potencia, es decir, ajustan su potencia en función del comando TPC recibido en UL desde el Terminal para que logren el SIR objetivo) más un *offset* PO3 que se define en la Base de Datos del RNC.

En definitiva, dado que los bits piloto sufren control de potencia, HS-SCCH también lo sufre. El *offset* del HS-SCCH es fijo y se define en la Base de Datos del RNC.

$$Pot_hsscch = Pot_dldpcch + Pot_hsscch_Offset$$

, donde

$$Pot_dldpcch = Pot_dldpdch + PO3$$

6.2.2.2.6 Nivel de potencia HS-PDSCH

La potencia de los canales HS-PDSCHs asignados dentro de un intervalo TTI a un determinado tienen todos el mismo nivel de potencia y su suma no puede sobrepasar un valor de referencia definido en la Base de Datos del RNC:

$$Pot_ref = Pot_cpich + Pot_hspdsch_Offset$$

, donde *Pot_cpich* es la potencia del piloto CPICH.

El parámetro *Pot_hspdsch_Offset* puede llevar a engaño. No es el *offset* de cada canal HS-PDSCH, sino el que fija la potencia máxima que el Nodo B puede asignar a un Terminal por intervalo TTI, potencia que ha de repartir por igual entre todos los canales HS-PDSCHs.

De todas maneras, el estándar obliga a introducir un parámetro que reajuste la potencia para determinadas categorías de Terminales que se encuentren en buenas condiciones radio y reporten valores de CQI elevados. De modo que la fórmula correcta es:

$$Pot_hspdsch = Pot_ref + \Delta = Pot_cpich + Pot_hspdsch_Offset + \Delta + f(\Delta TBS)$$

- ***Ajuste de Potencia de Referencia*** Δ

El parámetro de ajuste Δ de la potencia de referencia está tabulada por categoría de Terminal en la TS25.214 del 3GPP (ver anexos 9.4 a 9.8).

El ajuste depende de la categoría de Terminal y del CQI reportado. La intención es reducir la potencia total que pueden alcanzar la suma de todos los canales HS-PDSCHs asignados a un Terminal dentro de un TTI una vez que el tamaño de bloque de transporte no puede incrementarse más debido a limitaciones físicas del Terminal. Se reduce 1 dB por cada incremento de CQI, una vez alcanzado el CQI que logra el máximo TBS. Por ejemplo, para Terminales de categoría 12 el máximo TBS se alcanza cuando CQI=15. De modo que el Nodo B va reduciendo en 1 dB por cada incremento unitario de CQI que va reportando el Terminal. Es decir,

si CQI = 16 → $\Delta = -1$
si CQI = 17 → $\Delta = -2$
si CQI = 18 → $\Delta = -3$
si CQI = 19 → $\Delta = -4$
.....

El nivel de potencia *Pot_hspdsch* afecta a la calidad del interfaz radio. A mayor potencia en DL de los canales HS-PDSCH, mejor lo recibirá el Terminal, mayores CQI reportará. Con el ajuste reaccionamos a la excesiva calidad del interfaz radio, ya que llega un momento que por mucho que lo mejoremos, no lograremos sacar más partido al sistema debido a las limitaciones del Terminal. Por el contrario, el Nodo B reasignará ese exceso de potencia a otros usuarios HSDPA.

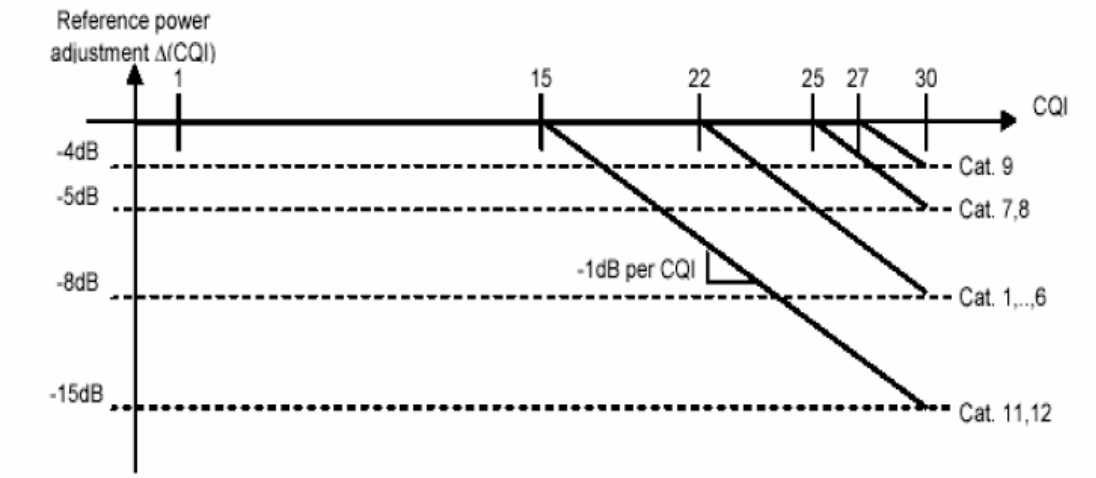


Figura 20 Ajuste de la Potencia de Referencia para los canales HS-PDSCH

- ***Ajuste por variaciones en TBS f(ΔTBS)***

En las tablas anexadas extraídas en el TS25.214 del 3GPP (Anexos 9.4 a 9.8) se pueden extraer los siguientes parámetros a partir del CQI que el Terminal:

- Ajuste de potencia de referencia Δ
- Número de HS-PDSCHs
- Modulación (QPSK o 16 QAM)
- TBS

El valor TBS indica el máximo número de bits por bloque de transporte recibido dentro de un intervalo de tiempo de transmisión TTI. De acuerdo con el estándar 3GPP, existe un desajuste entre el TBS máximo extraído de las tablas de CQI y el TBS máximo que realmente puede soportar el Terminal. Es decir, para el ejemplo de un Terminal de categoría 12, tenemos la siguiente información a partir de las tablas del CQI reportado:

CQI value	Transport Block Size	Number of HS-PDSCH	Modulation	Reference power adjustment Δ	N_{IR}	X_{RV}
14	2583	4	QPSK	0		
15	3319	5	QPSK	0		
16	3319	5	QPSK	-1		
17	3319	5	QPSK	-2		
18	3319	5	QPSK	-3		
19	3319	5	QPSK	-4		
20	3319	5	QPSK	-5		

Figura 21 Porción de Tabla 7 CQI para Categoría 12

Indica que a partir de CQI mayores de 15, el TBS siempre será 3319. No se podrán recibir TBS mayores por limitaciones del Terminal. Pero realmente, las especificaciones del Terminal indican que sí puede recibir TBS mayores. Observemos la Figura 95.

	Parameters from 3GPP specifications							
UE Category	Mod. scheme	Maximum number of HS-DSCH codes received	Minimum inter-TTI interval	Max. no. of bit per transport block received within an HS-DSCH TTI	Total number of soft channel bits	Maximum data rate; Mbps	Theoreti-cal max. data rate w/o channel coding; Mbps	IR HARQ possible at maximum data rate
1	16QAM	5	3	7298	19200	1,22	1,6	No
2	16QAM	5	3	7298	28800	1,22	1,6	Yes
3	16QAM	5	2	7298	28800	1,82	2,4	No
4	16QAM	5	2	7298	38400	1,82	2,4	Yes
5	16QAM	5	1	7298	57600	3,65	4,8	No
6	16QAM	5	1	7298	67200	3,65	4,8	Yes
7	16QAM	10	1	14411	115200	7,21	9,6	No
8	16QAM	10	1	14411	134400	7,21	9,6	Yes
9	16QAM	15	1	20251	172800	10,13	14,4	No
10	16QAM	15	1	27952	172800	13,98	14,4	No
11	QPSK	5	2	3630	14400	0,91	1,2	No
12	QPSK	5	1	3630	28800	1,82	2,4	No

Figura 22 Terminales HSDPA

De modo que tenemos un desajuste de 3630 – 3319 = 311 *bits.* A decir verdad, el número de bits realmente enviados por el sistema depende del suministrador o fabricante. Cada uno tiene una solución similar, pero no todos transmiten 311 bits de más. Lo que es seguro es que transmiten más de 3319 bits y menos de 3630 bits para esta categoría de Terminal y para condiciones radio de CQI mayor o igual que 15.

Ese exceso de *bits* implica que el Nodo B debe transmitir con más potencia, ya que envía más información en el mismo tiempo. Existen unas curvas de pendiente (dB/bit) a partir de las cuales se puede extraer ese exceso de potencia, y que están en función de la modulación utilizada y del número de códigos HS-PDSCHs. A partir de la pendiente hacemos una extrapolación lineal.

num. of PDSCH-codes	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*7*	*8*	*10*	*12*	*15*
slopes QPSK	0.013925	0.007737	0.005247	0.004723	0.004876	0.002610	0.002094	0.001744	0.001404	0.000996
slopes 16QAM	-	-	-	-	0.001723	0.001305	0.001047	0.000872	0.000702	0.000498

Figura 23 Curvas de pendiente dB/Bit

En el caso que nos ocupa, empleando una modulación QPSK y 5 códigos (mirar tabla de CQI), tenemos una pendiente de 0,004876 dB/bit.

De modo que, si el Nodo B transmite 331 bits más, la potencia que se necesita es:

$$f(\Delta TBS) = [TBS_modified - TBS\ (CQI)]\ bits * 0{,}004876\ dB/bits$$
$$= 311\ bits * 0{,}004876\ dB/bits = 1{,}51\ dBs$$

- ***Ejemplo de cálculo***

Imaginemos que tenemos 16 Watts disponibles para HSDPA (no hay usuarios R'99, de modo que NHP = 4). Hay un usuario HSDPA cuyo Terminal es de Categoría 12. Realiza una llamada HSDPA y las condiciones radio son buenas. Reporta un CQI = 15.

Pot_cpich = 33 dBm
Pot_hspdsch_Offset = 3 dB
f(ΔTBS) = 0, asumimos que el Nodo B se ajusta al TBS de las tablas de CQI, por considerar que el TBS máximo real depende del fabricante.

Si CQI= 15 → Δ = 0 y Número de canales HS-PDSCH es 5 (ver Figura 95)

Entonces,

$$Pot_hspdsch = Pot_ref + \Delta = Pot_cpich + Pot_hspdsch_Offset + \Delta + f(\Delta TBS)$$
$$Pot_hspdsch = Pot_ref + \Delta = 33\ dBm + 3 + 0 + 0 = 36\ dBm \rightarrow 4\ Watts$$
$$Pot_hspdsch/\ por\ código = 4/5 = 0{,}8\ Watts \rightarrow 29{,}03\ dBm$$

6.3 Gestión de Códigos en HSDPA

Sabemos que HSDPA utiliza los siguientes **canales**:

⇒ <u>En el DL</u>:

- **HS-PDSCH**: es el canal que transporta tráfico de usuario. Es un canal compartido entre varios usuarios. El código de canalización que se usa en el canal tiene un SF de 16, análogo al RAB de 128 kbps utilizado en R'99.

- **HS-SCCH**: es un canal de señalización, asociado al HS-PDSCH. Su SF es 128.

⇒ <u>En el UL</u>:

- Para el transporte de tráfico de usuario no existen canales compartidos, sino que se asigna un **DCH** convencional, como en R'99. La única diferencia con R'99 es que un Terminal HSDPA puede soportar dos tipos de RAB's: de 64 kbps (el único soportado hasta la fecha por Terminales UMTS) y de 384 kbps, la novedad.

- También existe un canal físico dedicado **HS-DPCCH**, de SF=256, que soporta la señalización HARQ y el envío del CQI desde el Terminal al Nodo B.

El número de canales (o códigos) HS-PDSCHs y HS-SCCHs que puede configurarse por celda viene dado por los siguientes parámetros, definidos en la Base de Datos de la RNC:

Number of HS-PDSCH Codes: número de códigos destinados a HSDPA por celda. Dicho de otro modo, es el número de canales HS-PDSCH por celda. **No pueden usarse para R'99**. Son exclusivos de HSDPA. El valor por defecto es 5, aunque se puede configurar un número entre 1 y 15, dependiendo del HW o SW implementado en el NodoB

Number of HS-SCCHs: número de canales HS-SCCHs por celda. Valor por defecto es 3.

Los códigos que se asignen a HSDPA no pueden ser utilizados para R'99. Por ello, al asignar códigos para los canales HS-PDSCHs, se está inutilizando parte del árbol de códigos para tráfico de R'99. La Figura 97 es un ejemplo de asignación. No significa que se asignen así. Como vemos, los códigos reservados para HSDPA (códigos en rojo), dejan toda la parte derecha del árbol sin posibilidad de asignación para tráfico de R'99.

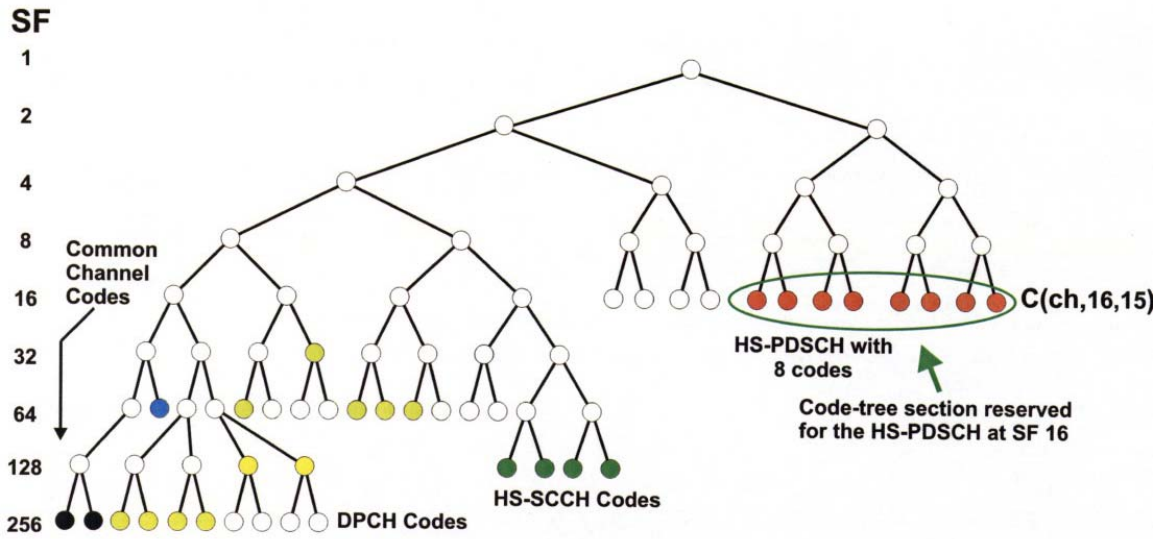


Figura 24 Árbol de Código de un Código Scrambling

Los usuarios UMTS dispondrán de la parte izquierda del código. Como el Factor de Ensanchamiento (*SF)* en UMTS no es fijo, sino que varía de 4 a 512 en DL, el árbol se puede expandir hacia abajo, copando códigos con SF mayores (códigos amarillos en el ejemplo). Conforme mayor es el SF, menor es la tasa de *bit*s, pero mayor es el número de códigos disponibles, esto es, mayor es la capacidad de la celda de poder conectar más usuarios. Pero además, esa parte izquierda deberá ramificarse para poder atender a las necesidades de señalización común y dedicada que toda llamada HSDPA (o llamada R'99) necesita, esto es, DCH asociado, HS-SCCH y los canales de señalización común FACH1, FACH2 y PCH. En cuanto a los canales de transporte HS-DSCH, éstos tienen un SF fijo e igual a 16. Tenemos 8 HS-DSCH asignados en el ejemplo mostrado. Ocupan la parte derecha del árbol. Pueden estar asignados a un único usuario o a varios.

En todo árbol existen dos reglas básicas para su asignación, válidas para todo sistema WCDMA con o sin HSDPA:

- Existen n códigos con SF = n. Observando el árbol de la Figura 97 comprobamos que hay un solo código de SF=1, dos códigos de SF=2, cuatro códigos de SF=4, ocho códigos de SF=8, dieciséis códigos de SF=16 y así sucesivamente.

- No se pueden asignar todos los códigos del árbol al mismo tiempo. Por ejemplo, si en el ejemplo de la Figura 98 se asigna el código C(ch,4,0), los códigos C(ch,2,0), C(ch,8,0) C(ch,8,1) y todos los otros códigos dentro de los sub-árboles bajo C(ch,8,0) y C(ch,8,1) no están disponibles.

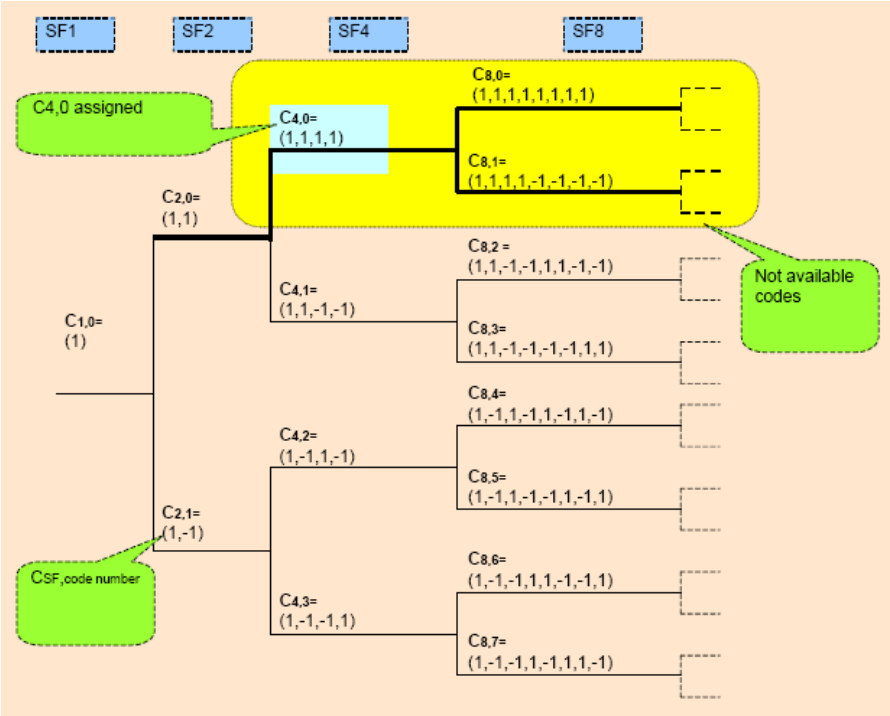


Figura 25 Solapamiento en asignación de códigos en un sistema WCDMA

Se ha de tener en cuenta la señalización necesaria tanto para R'99 como para HSDPA. De ahí la imposibilidad de asignar 16 códigos a HSDPA. Se necesita al menos un código con SF=16 libre, por ejemplo el C(ch,16,0), para poder asignar éstos códigos. Las necesidades de señalización son las siguientes:

Canales Comunes Versión 1

CPICH	SF=256
P-CCPCH	SF=256
S-CCPCH	SF=64, (PCH y FACH transportados dentro del mismo S-CCPCH)
AICH	SF=256
PICH	SF=256

Canales Comunes Versión 2

CPICH	SF=256
P-CCPCH	SF=256
FACH	SF=64
PCH	SF=128
AICH	SF=256
PICH	SF=256

Canales HSDPA únicamente:

HS-SCCH	SF=128 (pueden configurarse de 1 a 4 canales)

En la Figura 99 se muestra un ejemplo donde el sub-árbol que parte del código C(ch,16,0) cubre las necesidades de señalización. Los canales PCH y FACH no están dentro del mismo S-CCPCH. En este caso, si queremos utilizar 4 HS-SCCHs para HSDPA únicamente podemos reservar 14 códigos como máximo para canales HS-PDSCHs; y no 15. Como vemos, el sub-árbol no tiene códigos de SF=128 suficientes, pues sólo dispone de 3 códigos libres. De modo que necesitamos liberar un segundo sub-árbol, una segunda rama que cuelgue de otro código de SF=16, por ejemplo el código C(ch,16,1), para poder asignar el cuarto HS-SCCH.

Si los canales PCH y FACH están combinados dentro del mismo S-CCPCH sí es posible asignar 15 códigos para los canales HS-PDSCHs y 4 códigos para canales HS-SCCHs.

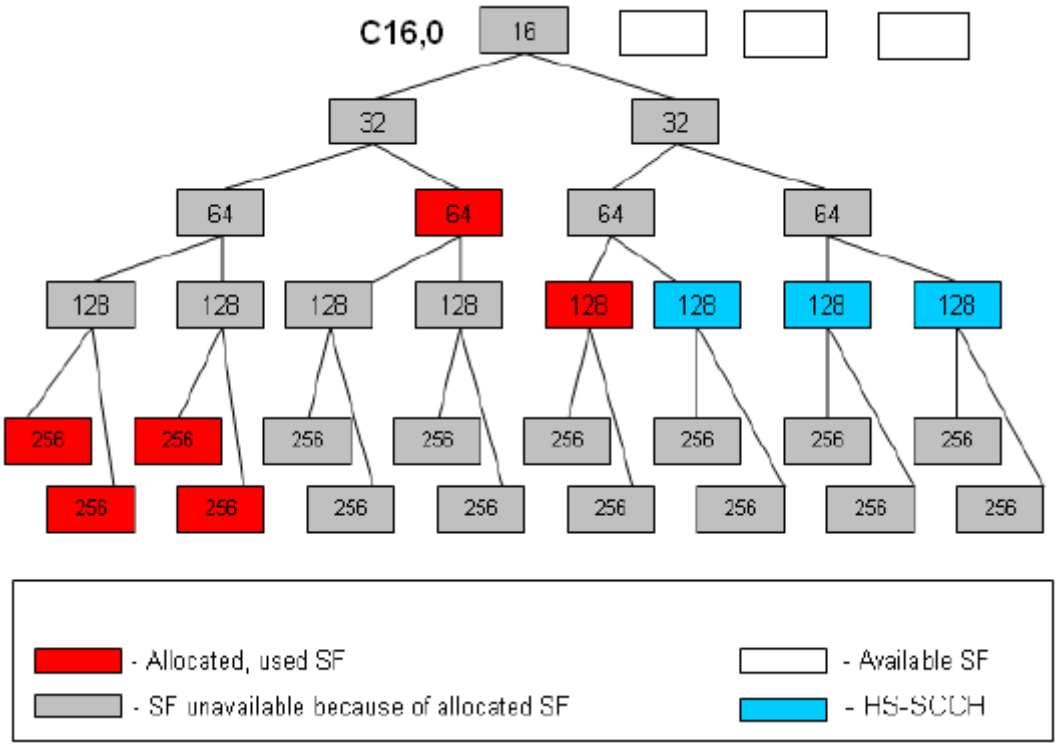


Figura 26 Necesidades de Señalización en UMTS con HSDPA implementado

Ejemplos de impacto en R'99

Retomando la Figura 99, si se asignan 5 códigos para canales HS-PDSCHs, queda espacio únicamente para:

- 10 usuarios de PS 64/128 simultáneos, ya que un portador R'99 de 128 kbps necesita un código con un SF de 16.
- 4 usuarios de PS 64/384 simultáneos, pues un RAB R'99 de 384 kbps necesita un código con un SF de 8.

Si se asignan más de 12 códigos para canales HS-PDSCHs no puede haber ningún usuario de PS 64/384 en la celda, pues no hay códigos SF=8 disponible.

6.4 Nodo B Scheduler. Programacion de usuarios en el NodoB

En la R'99 toda la gestión de los recursos radio son llevados a cabo por el CRNC. En el caso del canal dedicado en el DL para UMTS (*DSCH, Dedicated Shared Channel*), que es un recurso compartido al que pueden acceder los diferentes terminales, la CRNC toma la decisión de quién accede a dicho recurso y por cuánto tiempo, basado en volumen de tráfico y ocupación del buffer.
El hecho de asignar la gestión de todos los recursos radio al CRNC (en lugar de hacerlo a los Nodos B) encuentra su explicación en la efectividad con que se ejecutan los distintos procesos radio a nivel macrocelular, como la movilidad. Sin embargo, la latencia introducida en la comunicación a través del Interfaz Iub, como por ejemplo la existente en toda conexión RRC entre el Terminal y el RNC, implica que el CRNC no pueda basar sus decisiones de una forma precisa, pues los cambios del canal radio son rápidos y continuos; y la información de estado del enlace puede estar desfasada. Por ejemplo, si el CRNC basa la compartición del DSCH en la relación señal a ruido experimentado en cada terminal *(Signal to Interference Ratio, SIR)*, necesita que dicha información sea enviada por señalización a través de interfaz aire y luego retransmitida por el interfaz Iub hasta el (eso si el CRNC es SRNC, pues en caso contrario habría transmisiones adicionales en el interfaz Iur). Después, toda decisión tomada por el CRNC requiere señalización adicional de nuevo en el Iub (y posible Iur).
En HSDPA, el CRNC asigna un bloque de recursos radio al Nodo B, consistentes en un árbol de códigos y potencia de transmisión, que los administra de forma autónoma entre los distintos terminales. Estos recursos componen el canal HS-DSCH. Como únicamente existe el interfaz radio entre el terminal y el Nodo B y si le añadimos que el *TTI* es ahora de 2 milisegundos en lugar de los 10 en UMTS, éste puede obtener información del canal radio directamente de los terminales y con una cadencia mayor, a través de la rápida señalización en el nivel físico (retroalimentación vía CQI) y saber exactamente las condiciones del canal radio para adaptar la tasa binaria de *bit*s consecuentemente.
El Programador de Accesibilidad al recurso HS-DSCH implementado en el Nodo B puede tener varios algoritmos de medida que ayudan a decidir qué Terminal debe recibir datos en el siguiente *TTI*. A saber:

- Evaluación de las condiciones radio para cada uno de los usuarios
- Cantidad de datos pendientes en el buffer para cada uno de ellos
- Tiempo transcurrido desde que un usuario particular fue servido por última vez
- Usuarios con retransmisiones pendientes.

El 3GPP no define ningún algoritmo estándar a utilizar en el Programador de Paquetes, de manera que se deja al criterio de suministradores y operadores el encontrar un algoritmo que se adecue a las expectativas de sus clientes. Aquí van algunas recomendaciones:

Justicia. La clave de un funcionamiento óptimo en HSDPA recae en el Programador de Paquetes situado en el Nodo B, concretamente en su entidad MAC-hs. Aquellos métodos que sean rápidos lograrán hacer un seguimiento de la calidad del canal radio del usuario cada *TTI* y podrán realizar decisiones de programación en consecuencia. Anteriormente se ha descrito cómo HSDPA consigue la información del canal radio. Pero el problema reside en la decisión a tomar a posteriori. ¿Cómo se hace justicia entre todos los usuarios? Una medida posible podría llamarse "Tasa Justa", en la que aseguramos que todos los usuarios en cola obtienen la misma tasa binaria media simultáneamente, lo que significa que usuarios en malas condiciones radio consiguen relativamente más recursos HS-DSCH.

En el otro extremo, el método de "máxima SIR", sólo da recursos a los usuarios con las condiciones radio más favorables.

Un método intermedio, podemos hablar de "Recurso Justo", el cual proporciona los recursos equitativamente entre todos los usuarios de manera que puedan alcanzar tasas de acuerdo con la calidad de su enlace radio, lo cual no depende necesariamente del perfil QoS de sus aplicaciones.

Programación oportunista. Los métodos proporcionales, P-FT *(Proportional Fair Throughput)* y P-FR *(Proportional Fair Resource),* intentan dar a todos los usuarios la misma probabilidad de ser atendidos a través del uso de la denominada "calidad de canal instantánea", que es la relación entre la SIR actual y la SIR media. Idealmente este método dará turnos a aquellos usuarios que estén durante un desvanecimiento constructivo, elevando así la tasa binaria de toda la celda en general y las tasas binarias de cada usuario. Estos métodos pueden mejorar su equidad entre usuarios si enfatizamos el peso de la calidad instantánea del canal con los valores en los buffers estáticos.

Mínima Tasa Garantizada. Para satisfacer servicios *streaming* el Nodo B es informado con señalización explícita, como por ejemplo, "MAC-hs Guaranteed *Bit* Rate IE", indicando el número garantizado de *bit*s por segundo que la entidad MAC-hs debería entregar en el interfaz radio bajo condiciones normales.

Influencia de la Cobertura. Al no existir *soft handover* para el canal HS-DSCH usuarios que están al borde de la celda no podrán disfrutar de los beneficios de la macrodiversidad (ganancia por estar en *soft handover*) cuando están recibiendo el canal HS-DSCH. Únicamente lo recibirá a través de su celda servidora HS-DSCH. Para poder recibirlo con unos niveles de tasa binaria aceptable debe transmitirse con una potencia relativamente

alta comparada con usuarios que estén en el centro de la celda. Además, la sobrecarga de señalización de control asociada a los canales HS-SCCH y HS-DPCCH es también mayor en el borde de la celda, por lo que puede ser deseable limitar la cobertura del HS-DSCH. Se debe considerar que el coste de la carga transportada puede ser muy alto si se considera toda el área de la celda, ya que la tasa binaria efectiva disminuirá conforme aumente la cobertura. De modo que en celdas de gran tamaño, las tasas binarias efectivas son menores.

6.4.1 Estrategias de programación

El Programador de paquetes tiene que asignar los recursos del canal HS-DSCH a todos los usuarios HSDPA de la manera más equitativa posible e intentar al mismo tiempo alcanzar una alta utilización de dichos recursos para, así, optimizar el coste por *bit*. Pero debido a la naturaleza de las 3 clases de tráfico soportados en HSDPA (*Interactive, Background y Streaming*), ambas estrategias con mutuamente excluyentes, ya que hay ocasiones en las que el Programador debe ser capaz de gestionarlos al mismo tiempo

- **Programación atendiendo a "Tasa Justa"**

Los usuarios consiguen la misma tasa independientemente de donde estén. Son atendidos de manera secuencial. De manera que, en teoría, todos los usuarios activos del sistema experimentarán los mismos retrasos y tasa binaria. Son los denominados FT (*Fair Throughput).*

- **Programación atendiendo a "Tiempo Justo"**

La potencia disponible para HS-DSCH se comparte de manera equitativa entre los usuarios, lo que lleva a obtener tasas de *bit*s menores al borde de la celda. Los usuarios reciben recursos iguales de manera secuencial, pero experimentan tasas binarias diferentes según la calidad media de su canal radio.

- **Programación atendiendo a mejor calidad radio (SIR ó C/I máxima)**

Por una parte, maximiza la eficiencia espectral de la celda, pero es muy injusto, ya que únicamente da servicio a los usuarios en mejores condiciones radio durante el *TTI* actual, esto es, aquellos que reporten un CQI mayor.

- **Programación atendiendo "Recursos Justos Proporcionales"**

Con el objeto de obtener métodos más justos, es posible definir y calcular el denominado RICQ *(Relative Instantaneous Channel Quality)*. RICQ utiliza la información proveniente del CQI y de los algoritmos de estimación de calidad del enlace, como el control de potencia en DL, emplazados en el Nodo B. Este método hace referencia al llamado P-FR (*Proportional Fair Resource)*. En él, todos los usuarios obtienen aproximadamente la misma probabilidad de ser servidos, incluso si experimentan una diferente calidad media del enlace radio.

El Programador de recursos está localizado en el Nodo B, lo que da la posibilidad al sistema de programar la accesibilidad a los recursos radio cada TTI. De ahí que hablemos de *Fast Scheduling.*
El principio del algoritmo de programación debe ser el de optimizar la capacidad de la celda al mismo tiempo que satisface las necesidades de calidad de servicio determinadas.
Para tráfico de tipo *Streaming* los atributos de calidad de servicio que deberían ser considerados son el retraso y una tasa de transferencia mínima garantizada.
Para un servicio *Interactive* no hay garantías de calidad de servicio, de manera que la calidad del portador en términos de mínima tasa de transferencia dependerá de la carga del sistema y de la política de control de admisión implantada por el operador.
El tráfico de tipo *Background* siempre será atendido mientras haya capacidad remanente en el sistema.

Selección dinámica entre distintos usuarios. Ejemplo Maximum C/I

Veamos un ejemplo de programación de accesibilidad de dos usuarios HSDPA acampados en una misma celda, ambos en plena transferencia. Supongamos que el algoritmo de programación se basa en dar recursos a aquellos usuarios cuyas condiciones actuales del canal radio sean las mejores, plasmadas en el parámetro RICQ, que es la relación entre la calidad actual y la calidad media del canal. La eficiencia espectral de la celda será alta, ya que aprovecha sus recursos radio de manera eficiente. También los usuarios obtienen tasas de transferencia altas, siempre y cuando estén en buenas condiciones. Se podría decir que este algoritmo explota las variaciones radio a corto plazo. Es óptimo si se quiere garantizar un cierto grado de calidad de servicio. El algoritmo está basado en la retroalimentación del canal UL HS-DPCCH, que le informa acerca de la calidad de recepción de datos en DL por parte del terminal y los acuses de recibo Ack/Nack.

Así, hablaríamos de una "multiplexación estadística" de paquetes de datos provenientes de diferentes flujos, en este caso usuarios, sobre una medio compartido, el canal de transporte HS-DSCH.

- Uso optimizado de los recursos radio
- Explotación de las variaciones a corto plazo en los canales radio
- Proporciona cierta QoS

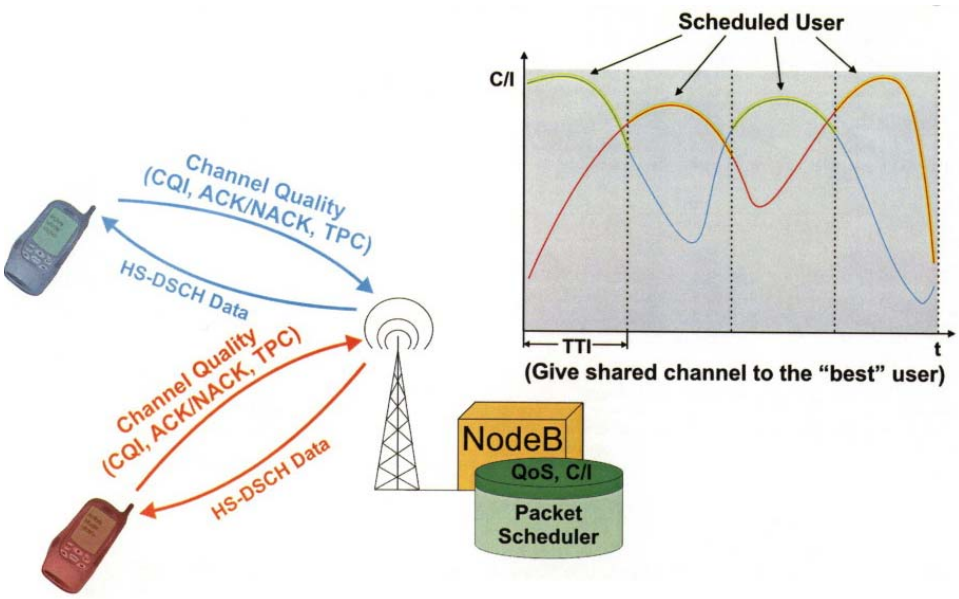


Figura 27 Programación dinámica basada en Maximum C/I

6.4.2 Comparativa entre métodos de programación de recursos

A continuación mostramos una tabla en la que se sintetizan las características de 3 algoritmos de programación: FT (*Fair Throughput*), P-FR (*Proportional Fair Resources*) y Maximum C/I.

Entendemos por **intervalo de programación** al periodo o frecuencia con que los usuarios son programados para que puedan recibir datos a través del HS-DSCH. Puede ser el TTI o mayor. Si es corto, el programador puede adaptarse a las variaciones de canal de manera rápida, pero hay un coste computacional elevado en el Nodo B, lo que aumenta su complejidad. Por otra parte, el **orden de servicio** atiende al orden en que los usuarios son servidos, como por ejemplo, un orden aleatorio (*Round Robin*) o según la calidad del canal radio (basado en C/I). Conforme el mecanismo sea más avanzado, el Nodo B requerirá mayor capacidad de proceso. Por último, el **método de asignación** hace referencia al criterio de asignación de recursos. Por ejemplo, asignar la misma cantidad de datos o los mismos recursos de potencia/código/tiempo entre los usuarios encolados por intervalo de programación/asignación.

Método de Asignación	Intervalos de Programación	Orden de Servicio
FT	• Lenta • Entre 20–100 ms	Round Robin
P-FR	• Rápido • Por TTI, 2 ms	Únicamente es servido el Usuario con mejor RICQ
M-C/I	• Rápido • Por TTI, 2 ms	Únicamente es servido el Usuario con máximo SIR

Figura 28 Comparativa de algoritmos de Programación

En **FT** los recursos son asignados para que todos los usuarios actualmente activos experimenten el mismo retraso y tasa de transferencia. Son servidos en orden secuencial. Es una forma de asignación tipo *Round Robin*.

En **P-FR** se asignan los mismos recursos radio (tiempo/potencia/código) a todos los usuarios. Como la frecuencia de programación es alta, este método puede seguir el desvanecimiento radio a corto plazo. Utiliza tanto el CQI como algoritmos de estimación de calidad del enlace radio, que están localizados en el Nodo B. Con este método todos los usuarios obtienen aproximadamente la misma probabilidad de ser servidos incluso aunque experimenten una calidad del canal radio muy diferente entre ellos.

En **M-C/I** se asignan los mismos recursos radio por TTI. También puede seguir el desvanecimiento radio a corto plazo. Es el método más drástico, ya que sirve al usuario con mejor calidad radio durante el actual TTI. Es decir, aquel que pueda sustentar la tasa más alta.

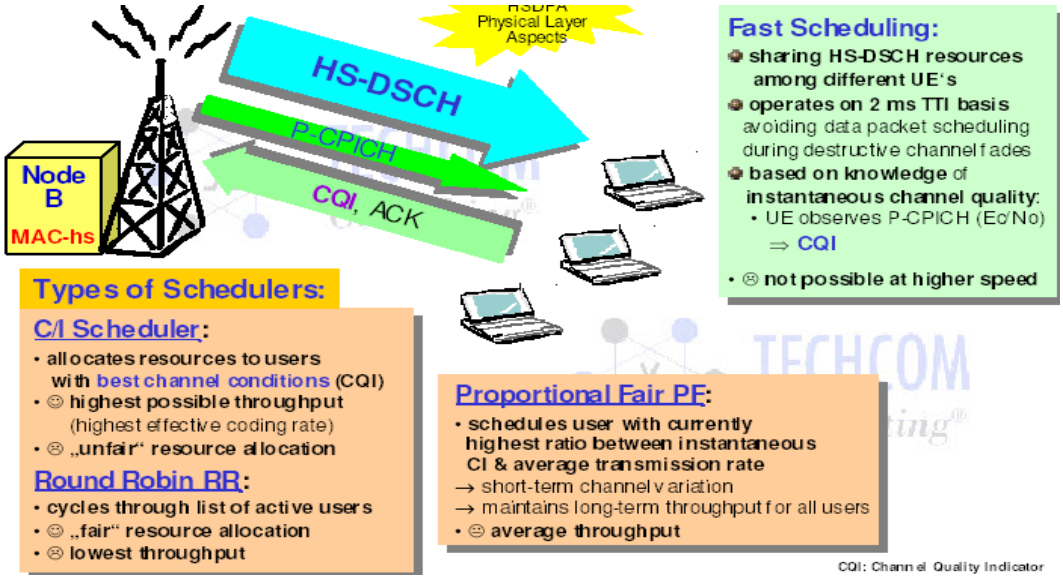


Figura 29 Fast Scheduling en HSDPA

6.4.3 Secuencia en la Asignacion de recursos

En general, el Programador de Asignación de recursos o *Scheduler*, implementado en la entidad MAC-hs del Nodo B, es responsable de ejecutar los siguientes pasos en el orden mostrado a continuación:

1. Seleccionar al conjunto de Terminales que van a ser servidos en el siguiente intervalo de tiempo de transmisión o TTI. Los dos pasos siguientes serán aplicados únicamente a este conjunto.

2. Seleccionar las colas de prioridad apropiadas para la transmisión de datos. Decide si los datos a transmitir a los Terminales seleccionados son nuevos o si se tratan de retransmisiones HARQ. El *Scheduler* tiene en cuenta los siguientes parámetros:

    - El proceso HARQ que va a ser seleccionado.
    - La versión de redundancia
    - El esquema de modulación (QPSK o 16 QAM)
    - El tamaño del bloque de transporte
    - La potencia de transmisión de HSDPA

3. Gestionar los recursos HSDPA en el Interfaz Aire. Incluye:

    - Cuántos y cuáles códigos de canalización y potencia de los canales HS-PDSCHs
    - Cuántos y cuáles códigos de canalización y potencia de los canales HS-SCCHs

Estimación del CQI

Hagamos un breve repaso a la estimación del CQI por parte del Terminal, ya que esta medida será la base para la toma de decisiones de cualquier *Scheduler*, sea de un tipo u otro.

CQI estima la calidad del canal radio y la reporta al Nodo B a través del canal físico HS-DPCCH. La estimación se basa fundamentalmente sobre tres aspectos:

1. El Terminal calcula el valor de CQI estimando el RSCP de los canales HS-PDSCH, (que es la potencia recibida en el código después del de-ensanchamiento, medido sobre CPICH) de manera que la probabilidad de error en el bloque de transporte no excede el 0,1. Ya hemos visto que el RSCP de un canal HS-PDSCH lo calcula el Terminal a partir de la siguiente fórmula:

$$Pot_hspdsch = Pot_cpich + Pot_hspdsch_Offset + \Delta$$

Es fácil intuir que, a mayor potencia de los canales HS-PDSCH, mejor CQI tendremos, con lo que recibiremos más recursos. Pero cuidado, el hecho de mejorar el CQI constantemente no significa que la tasa de transferencia vaya a aumentarse en proporción. Llega un momento que la mejora de CQI no aporta nada nuevo, de manera que sería más lógico destinar esos excesos de potencia inútiles a otros Terminales que sí lo necesitan.

2. El Terminal reporta el valor de CQI periódicamente a través del canal UL HS-DPCCH, independientemente de si recibe datos de transmisión en los canales HS-PDSCH (al contrario que la información Ack/Nack, la cual se envía sólo si recibe datos).

3. Una vez recibido por el Nodo B, *Scheduler* asignará recursos en función del valor CQI reportado, aplicando un algoritmo de programación.

6.4.3.1 Tipos de Scheduler implementados

De entre todos los tipos de estrategias o algoritmos introducidos, sólo unos pocos han sido realmente implementados por la mayoria de los suministradores: ***Round Robin* y *Proportional Fair.*** Existen otros propuestos por los suministradores aunque no son tan comunes. Se puede decir que estos son los básicos en la mayoria de los suministradores.

Existe un compromiso entre optimizar la tasa de transferencia desde el punto de vista de la celda o desde el punto de vista de usuario.

Round Robin los usuarios son servidos en orden secuencial. Aquel usuario que este primero en la cola de asignación, y es servido pasa al final de la cola. El throughput conseguido dependerá de las condiciones radio reportadas.

Proportional Fair. Usa el siguiente método: primero ordena todos los Terminales HSDPA a los cuales el Nodo B tiene datos disponibles para transmitir en sus colas de prioridad o están esperando retransmisiones. El criterio de ordenación es la relación entre la tasa instantánea y la tasa media a diferencia del metodo anterior. La primera se calcula a partir del último CQI reportado. La segunda viene determinada por la media de todas las tasas de transmisión en los TTIs en los que el *Scheduler* seleccionó al Terminal.

De modo que,

- Criterio de Ordenación *Proportional Fair:*

$$\frac{Tasa_Instantánea}{Tasa_Media}$$

Hay variantes en las que el *Proportional Fair* también tiene en cuenta la relación de acuses de recibo positivos y negativos (*ANR, Ack Nack Ratio*).

$$\frac{Tasa_Instantánea}{Tasa_Media} \bullet ANR$$

El siguiente paso es la selección de Terminales a servir dentro del TTI correspondiente. El *Scheduler PF-R* atenderá a los Terminales con mejores condiciones, esto es, a los cuatro primeros en el ranking, sobre un total de 36 Terminales HSDPA que puede haber acampados en la celda (aunque estos valores dependen de la implementación de cada fabricante).

En el caso de que haya Terminales en igualdad de condiciones, el S*cheduler (*independiente del tipo de orden de asignacion *Round Robin* o *Proportional Fair)* servirá a aquél cuya cola de prioridad sea más corta. Si aún así hay Terminales empatados, se aplicaría una selección aleatoria.

Una vez seleccionados, el *Scheduler* (ya sea RR o PF-R) elige la configuración de transmisión de los canales HS-PDSCHs para cada uno de ellos. Es en este punto donde compara los recursos disponibles con los recursos demandados por el Terminal en el

último CQI reportado. Los recursos disponibles hacen referencia al árbol de códigos reservados para HSDPA y a la potencia no utilizada por los usuarios R'99 en ese momento. Los recursos demandados dependen del CQI reportado y viene tabulado en las Tablas 7A - 7E del TS25.214 anexadas. Si los recursos demandados por el primero de la lista están disponibles, el *Scheduler* se los da. Luego analiza el segundo de la lista, el tercero y el cuarto. Si llegado el momento los recursos disponibles son inferiores a los demandados, el *Scheduler* les dará lo que tenga, pero les servirá de una u otra forma. Los parámetros de los canales HS-PDSCHs son:

- Número de Códigos de Canalización (1 código → 1 canal HS-PDSCH)
- Potencia de Transmisión
- Esquema de Modulación
- Tamaño de bloque de transporte

Adicionalmente el *Scheduler* debe en cuenta antes de seleccionar y asignar recursos las capacidades del Terminal en cuanto a:

- Modulación radio soportada (QPSK, 16 QAM)
- Mínimo intervalo entre TTI
- Número de procesos HARQ que soporta simultáneamente, que se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{6}{\max(MinimumTTIInterval, ACK / NArepetitionFactor}$$

- Máximo número de códigos de canalización HS-PDSCH que pueden ser recibidos simultáneamente por el Terminal.
- Máximo tamaño de bloque de transporte HS-DSCH
- Máximo número de *soft bits,* los cuales son compartidos equitativamente entre todos los procesos HARQ
- Máximo número de códigos de canalización HS-SCCH que pueden ser evaluados simultáneamente por el Terminal.

6.4.3.2 Reglas para la asignación

A continuación se detallan una serie de reglas que el Scheduler sigue a la hora de asignar recursos HSDPA:

1. La transmisión de datos nuevos tiene lugar sólo si no hay procesos HARQ en el Terminal que requieran retransmisiones.

2. Si hay múltiples procesos HARQ esperando retransmisiones, el proceso que será servido en primer lugar es aquel que haya esperado más tiempo.

3. El Programador no debería asignar recursos HSDPA a usuarios que:

   - No tienen datos que transmitir
   - No tienen capacidad libre en ninguno de los *buffers* de reordenamiento
   - No tienen un proceso HARQ preparado para transmitir (*ready-to-transmit process*)
   - No han completado el mínimo intervalo de tiempo entre TTIs después de la última transmisión HSDPA
   - Han reportado un CQI muy malo o el valor de CQI está "fuera de rango"
   - No han reportado ningún CQI o no está físicamente sincronizado en UL

4. Nunca se asignan más códigos HS-PDSCHs de los que el Terminal puede soportar (dependiendo de su categoría) o de los que el Terminal ha reportado en el CQI más reciente.

5. No se asigna una modulación 16 QAM a un Terminal si así no lo ha propuesto él en su CQI más reciente.

6. Todos los códigos o canales HS-PDSCHs que van dirigidos a un mismo Terminal se transmiten con la misma potencia.

7. Si un Terminal ha sido servido en el TTI inmediatamente anterior, se le asigna el mismo código de canalización HS-SCCH que en el TTI inmediatamente anterior.

8. El *Scheduler* sólo utiliza tamaños de bloque de transporte que minimicen la cantidad de relleno o *padding* en las MAC-hs PDUs.

9. Cuando hay una retransmisión, el *Scheduler* usa el mismo tamaño de bloque de transporte usado en la primera transmisión.

10. Cuando se aplica 16 QAM el *Scheduler* reduce la potencia de transmisión a un valor fijo para alcanzar el EVM menor que 17,5%.

6.4.3.3 Configuración a cada usuario asignado o progamado

En un primer momento el *Scheduler* siempre intenta asignar el TBS y el número de códigos más cercanos posible a los indicados en las Tablas 7A-7E de la especificación técnica TS25.214 del 3GPP (anexos 9.4 – 9.8) según el CQI reportado por el Terminal. Sin embargo, existen situaciones en las que no es posible proporcionar los recursos indicados. Veamos algunos ejemplos:

- El TBS debe rebajarse si la cola de la entidad MAC-d no contiene suficientes datos para llenar todas las MAC-d PDUs pedidas.

- El tipo de modulación y, en consecuencia, el TBS deben rebajarse si la configuración de la celda no permite el uso de 16 QAM, independientemente de si la clase de Terminal y el CQI reportado así lo indiquen. Las consecuencias son mostradas en la siguiente figura. Los Terminales de categoría 1 – 10 piden una modulación 16 QAM a partir de CQI iguales o mayores que 16 o QPSK en caso de tener CQI iguales o menores que 15. Si la configuración de la celda no soporta 16 QAM, con CQI desde 16 a 21 obtendrán un tamaño de bloque de transporte igual al que obtendrían si reportasen un CQI=15, ya que QPSK no puede soportar los TBS de 16 QAM, pues envía menos bits. Cuando el CQI es mayor que 21, el máximo TBS alcanzable es la mitad del que tendría si se utilizase 16 QAM.

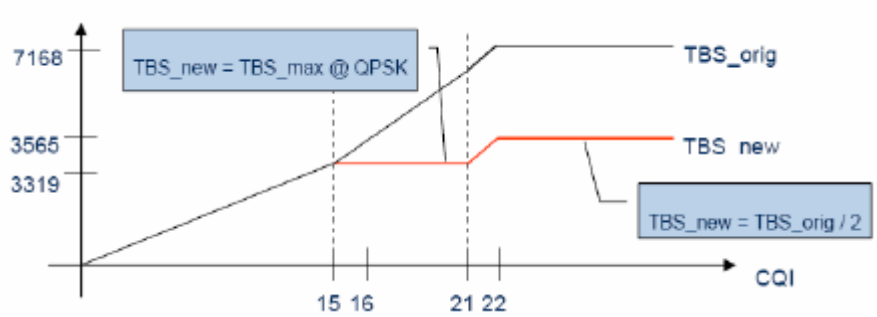


Figura 30 Downgrade HSDPA si celda configuración no permite 16 QAM

- La potencia de transmisión y, en consecuencia, el TBS deben rebajarse en caso de que no haya suficiente potencia disponible para HSDPA, pues las Tablas de CQI asumen que siempre existe la potencia para HSDPA (potencia piloto más un *offset).*

- El número de códigos HS-PDSCH y, en consecuencia, el TBS deben rebajarse en caso de que no haya suficientes códigos disponibles en la celda. Esto puede ocurrir en el caso en que los códigos reservados para HSDPA en la celda sean muy pocos (por ejemplo 5) y que ya hayan sido asignados a otros Terminales que estaban primeros en el ranking y que fueron programados anteriormente para recibir datos en el mismo TTI de forma paralela.

La Figura 104 muestra cómo el *Scheduler* asigna los recursos HSDPA. Este esquema de asignación de aplica tantas veces como Terminales haya seleccionados para recibir datos dentro del mismo TTI.

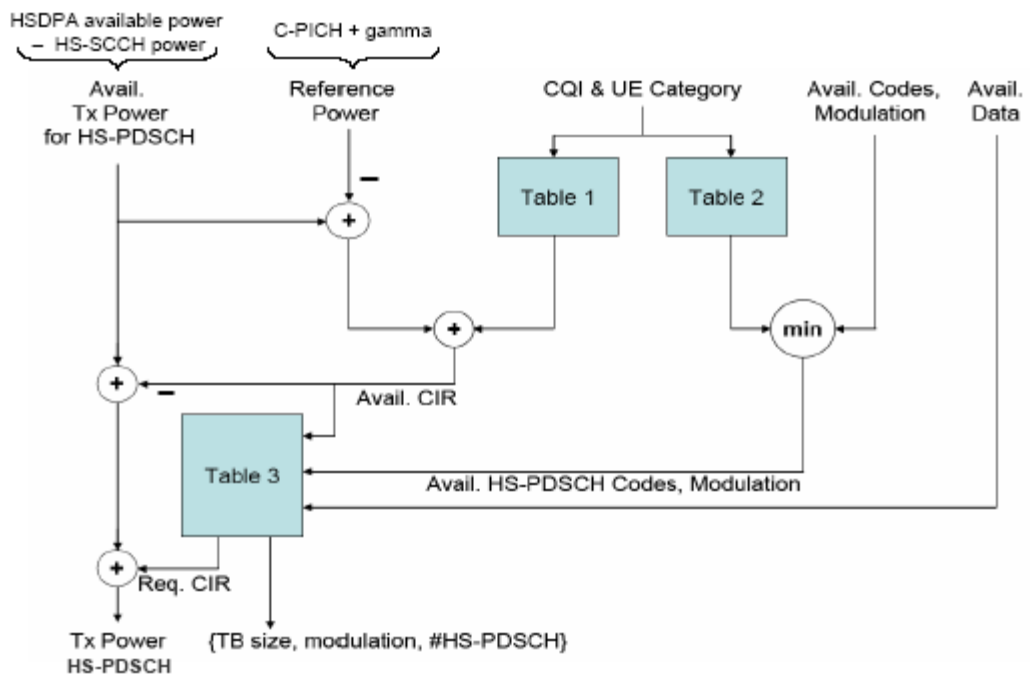


Figura 31 Esquema de Asignación del Scheduler

Las tablas referenciadas atiendan a:

- **Tabla 1**

  En ella el CQI reportado se mapea en el CIR (también denominado SIR) estimado en el receptor del Terminal. Depende de la categoría del Terminal. En la figura siguiente tenemos un ejemplo.

CQI	CIR	TBS	PDSCH-codes
0	-	-	-
1	-15.10	137	1
2	-14.10	173	1
3	-13.10	233	1
4	-12.00	317	1
5	-11.08	377	1
6	-9.95	461	1
7	-9.05	650	2
8	-7.90	792	2
9	-7.05	931	2
10	-5.95	1262	3
11	-4.85	1483	3
12	-3.65	1742	3
13	-2.40	2279	4
14	-1.60	2583	4
15	-0.90	3319	5
16	-0.20	3565	5
17	0.80	4189	5
18	1.70	4664	5
19	2.87	5287	5
20	3.90	5887	5
21	4.76	6554	5
22	5.75	7168	5
23	6.60	9719	7
24	7.88	11418	8
25	8.84	14411	10
26	9.67	17237	12
27	10.86	21754	15
28	11.69	23370	15
29	12.32	24222	15
30	13.17	25558	15

Figura 32 Mapeo de CQI con CIR

- **Tabla 2**

  Usando las tablas 7A – 7E de la TS25.214 del 3GPP, sección 6A.2 (ver Anexos 9.4 a 9.8), el CQI se traduce en un número máximo de códigos HS-PDSCH y un esquema de modulación. Los códigos finalmente asignados son el mínimo entre los códigos reportados en el CQI y los códigos que disponibles en ese momento. Se transmitirá la señal radio modulada en 16 QAM sólo en caso de que sea permitido por la configuración de celda, soportado por el Terminal y reportado en el último CQI.
- **Tabla 3**

  Los parámetros de transporte (tamaño de bloque, modulación, número de códigos HS-PDSCH) y la potencia se transmisión se determinan en base a las siguientes varaiables:

  - SIR estimado en el Terminal (Tabla 1)
  - La diferencia entre la potencia actual disponible para HSDPA y la potencia de referencia
  - Los códigos HS-PDSCH disponibles
  - El esquema de modulación permitida
  - Cantidad de datos de transmisión disponible

La potencia restante se asignará a los restantes Terminales también seleccionados dentro del mismo TTI. El esquema de programación es exactamente el mismo.

6.5 Impacto HW al introducir HSDPA

El impacto en Red que supone introducir HSDPA en las redes 3G actuales depende de la solución adoptada por cada Operador. La solución viene ligada a los suministradores de servicios de Telefonía Móvil, que son en definitiva quienes fabrican e implementan los elementos de red acorde con los estándares regulados por el 3GPP. Los suministradores venden sus productos y servicios a los Operadores. Algunos de los principales suministradores son Ericsson, Nortel, Nokia Siemens, NEC, Alcatel, Huawei, entre otros. Así, hablamos de solución Ericsson, solución Nokia Siemens, etc.

Los estándares a menudo definen funcionalidades únicamente, pero no especifican cómo implementarlas. De modo que el HW/SW asociado de cada suministrador difiere unos de otros. A partir de este planteamiento es fácil advertir que el impacto que sufre el sistema ante una nueva actualización será tanto más suave cuanto mayor sea la capacidad de la solución del suministrador en adaptarse a los mismos sin excesivos cambios HW/SW.

La participación del Operador también es fundamental en este punto. Dependiendo de los recursos de que disponga, puede definir o no una estrategia de futuro más adecuada a la tendencia natural de la tecnología de telefonía móvil, apostando en el despliegue inicial de UMTS por instalar módulos HW en Nodos B o RNC versátiles que puedan responder a las exigencias de futuras actualizaciones o funcionalidades como HSDPA.

Una vez vistos en capítulos anteriores todos los conceptos relacionados con HSDPA desde el punto de vista funcional y operativo, se pueden advertir los cambios necesarios en cada uno de los elementos e interfaces que comportan la red UTRAN.
La Figura 106 mostrada a continuación se resume el impacto que sufre una red UTRAN al introducir HSDPA.

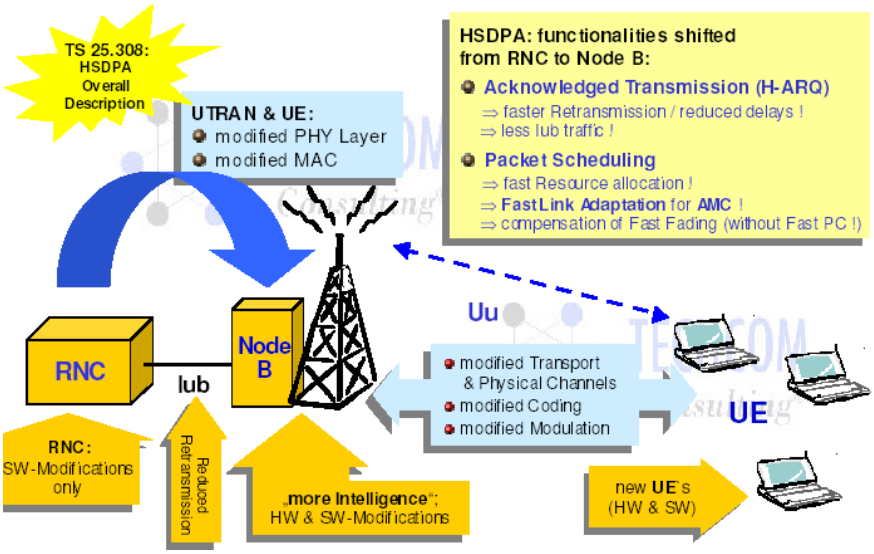


Figura 33 Impacto HW al introducir HSDPA

Además, los Terminales son completamente nuevos, desde el punto de vista HW y SW, para soportar HSDPA. En cuanto al Nodo B, asume nuevas funcionalidades que anteriormente eran responsabilidad del RNC. El sistema reacciona así, a los cambios del interfaz radio con mayor rapidez, disminuyendo la señalización en el interfaz Iub.
En cualquier caso, se puede considerar que **HSDPA tiene un impacto bajo** a nivel HW sobre las redes UMTS.

6.6 Impacto HSDPA en Control de Admisión

La función del Control de Admisión en una red UMTS es la de determinar si los recursos disponibles en el canal radio se ajustan a la calidad de servicio esperada cuando se intenta establecer, añadir o reconfigurar un nuevo radio enlace; cuando existe un traspaso a una nueva celda o cuando se intenta cambiar el canal de transporte (CTS).

Como todos los usuarios pueden estar transmitiendo o recibiendo simultáneamente, la interferencia del canal radio depende de los usuarios activos en un momento dado. La información de carga o interferencia es reportada por el Nodo B al CRNC cada cierto tiempo (típicamente cada 10 segundos) a través de un procedimiento NBAP. Por lo tanto, la función de Control de Admisión está localizada en el CRNC, pues controla la carga de varias celdas a la vez. Teniendo presente la carga actual, estima el incremento de carga que puede provocar el establecimiento de un nuevo portador radio, lo cual puede resultar en un incremento de la interferencia radio. Si es aceptable, lo permite. Si no, lo rechaza. La estimación se realiza de forma separada tanto en DL como en UL y únicamente se admitirá el nuevo portador si ambos controles de admisión (DL y UL) lo aceptan.

De modo que el Control de Admisión depende de:

1. La carga actual, principalmente definida en UL por el nivel de interferencia (RTWP) y en el DL por la potencia total de transmisión (TCP).

2. Las necesidades de recursos del nuevo portador

La decisión se toma en base a la siguiente fórmula:

*Carga Actual + Nueva Carga – Carga Antigua** < *Umbral*

*Nota: Hablamos de carga antigua en el caso de reconfiguración del portador radio. Se dejan unos recursos por otros (por ejemplo, reconfigurar el canal de transporte de 64 a 384 kbps).

El aspecto más importante es calcular la carga a partir de las medidas de interferencia reportadas por el Nodo B al CRNC. Sin entrar en la matemática asociada al algoritmo para calcular la relación entre la carga y la interferencia, se muestra un ejemplo en el que, a través de una gráfica, se puede visualizar la función del Control de Admisión. En el Eje X se muestra la carga en tanto por uno y en el Eje Y la interferencia en UL o RTWP (recordemos que el ruido blanco es aproximadamente de -112 dBm).

- Umbral de Carga en UL: 0,7
- Carga Actual de la celda: 0,51, debido a la presencia de:

- 4 Usuarios de AMR 12,2 kbps (servicio de voz)
- 2 Usuarios de PS 384 kbps (servicio de datos)

- Carga del nuevo portador de 384 kbps: 0,03

- Nueva carga: 0,51 + 0,03 = 0,54 < 0,7, de modo que el nuevo portador es admitido.

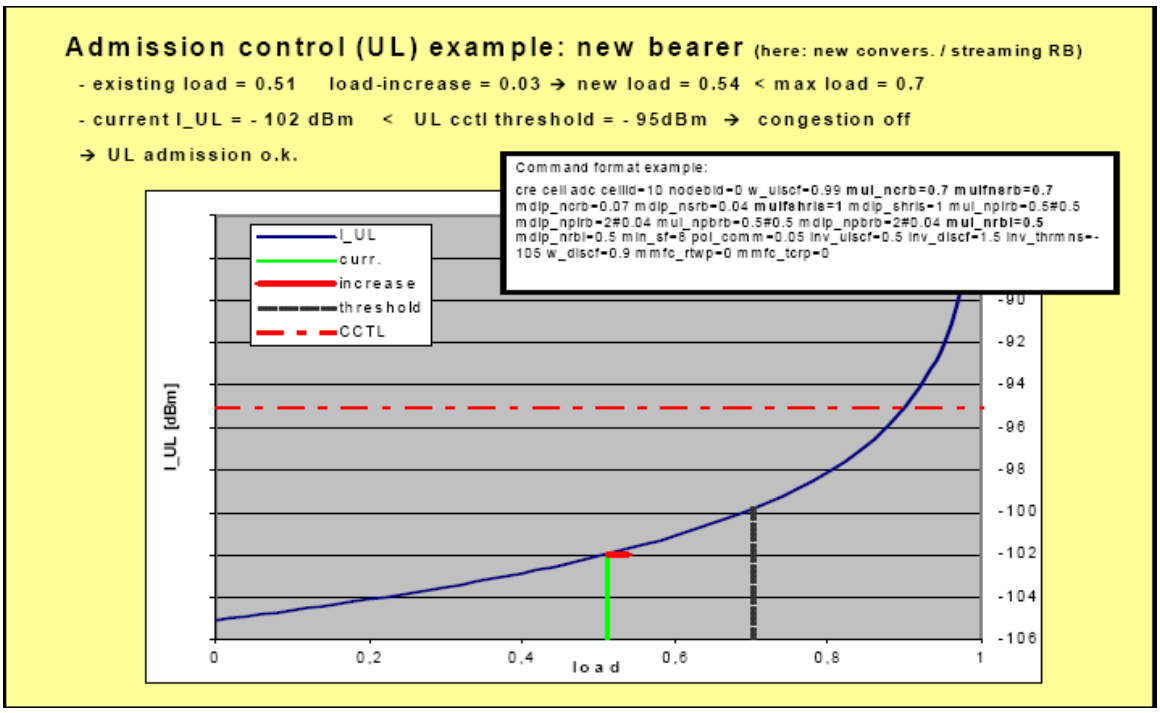


Figura 34 Ejemplo Control de Admisión en UL

Diferencias con HSDPA

Hemos indicado con anterioridad que la potencia HSDPA es gestionada de forma autónoma por el Nodo B. El RNC no está al tanto de esa potencia. Como el Control de Admisión es una funcionalidad implementada en el RNC **carece de sentido hablar de control de admisión en los canales HS-PDSCH y HS-SCCH**. Únicamente el canal DPCH asociado a toda llamada HSDPA está sometido al Control de Admisión:

- En DL, el canal DPCH asociado *PS I/B 0 kbps + SRB*, lo cual quiere decir es un canal físico de radio que se compone de un portador para servicio *Interactive/Background* de paquetes de 0 kbps (ya que el DTCH se transporta en el HS-DSCH en lugar del DCH, por eso tiene capacidad de transporte cero) y de un *Signaling Radio Bearer*, que no es ni más ni menos que el DCCH con SF=256, el cual se encarga de la señalización RRC mayoritariamente en DL.

- En UL hay dos canales DPCH:

    - DPCH asociado *PS I/B 64 ó 384 kbps + SRB*, ya que ahora sí se envían los datos a través del DCH hacia el DTCH con un servidor de 64 ó 384 kbps (HSDPA únicamente se aplica al DL!)
    - DPCH para el nuevo canal HS-DPCCH, que no es más que un SRB con SF=256.

De modo que, para HSDPA, se han creado unos nuevos umbrales para cada uno de los 3 DPCHs que vienen asociados a una llamada HSDPA.

Otra novedad es la referencia a partir de la cual calcula la carga. En UL sigue siendo el RTWP, pero en DL se toma el NHP en lugar del TCP.

Por último, se han modificado o añadido nuevas funcionalidades dentro del Algoritmo de Control de Admisión que pasamos a detallar brevemente:

6.6.1 Control de Restricción

La funcionalidad de Control de Restricción está implementada en la de Control de Admisión. Su función es la de verificar que el SF o Factor de Ensanchamiento del nuevo portador a ser admitido no excede un umbral definido en la Base de Datos del RNC. Es decir, si el SF del nuevo portador es menor o igual que el *SF mínimo* definido el RNC lo rechaza. Se aplica siempre que se establezca o añada un nuevo portador radio y se suele emplear para evitar situaciones en las que un portador de 384 Kbps (SF=8) consuma muchos recursos.

Con respecto a HSDPA, existen situaciones especiales donde sería interesante restringir a aquellos Terminales R'99 que sabemos consumirán gran parte de la capacidad de la celda y que, en consecuencia, van a degradar el funcionamiento de HSDPA debido a que éste es un servicio *best effort* que dispone de aquello que le sobra a R'99.

Normalmente, en una celda HSDPA, siempre que exista una nueva conexión de datos, el portador radio se configurará sobre el canal de transporte HS-DSCH, no sobre el convencional DCH de R'99. Sin embargo, puede ocurrir que:

- El Terminal no soporte HSDPA

- El Terminal o la Red no soporte combinación de multi-portadores en el canal HS-DSCH (CS + PS). Es decir, que no se pueda realizar una llamada de paquetes sobre el canal HS-DSCH si se está realizando simultáneamente una llamada de voz.

- No haya recursos en el Nodo B o el Control de Admisión en el CRNC rechace el establecimiento de llamada sobre HS-DSCH porque alguno de los tres DPCHs asociados sobrepasen el umbral.

En estos casos el portador radio se configurará sobre el canal de transporte convencional DCH de R'99, con lo que consumirá recursos radio que degradarán el funcionamiento HSDPA en esa celda.

Para afrontar estas situaciones se ha introducido una nueva funcionalidad en el Control de Restricción que nada tiene que ver con la introducida al principio del punto. Se podría llamar **Restricción de tasa del nuevo portador PS I/B sobre DCH en una celda HSDPA**. Lo que se pretende es restringir la tasa de bits de los nuevos portadores radio *PS I/B (Packet Service Interactive/Background)* que intenta abrir una sesión en una celda HSDPA y que van a transmitir sobre DCH en lugar de HS-DSCH debido a las razones indicadas con anterioridad. Lo hace limitando el SF. Si el SF del nuevo portador es menor al indicado en Base de Datos, se rechaza. Esta restricción de tasa se aplica únicamente si hay un número mínimo de usuarios HSDPA activos en la celda, especificado en la Base de Datos del RNC.

De modo que se definen dos parámetros en la Base de Datos del RNC: el SF mínimo y el número mínimo de usuarios activos HSDPA en la celda (este sería la condición de disparo para que se active esta funcionalidad).

Se busca restringir principalmente a usuarios PS 384 kbps (SF=8), ya que consumen mucha potencia. Desde el punto de vista del árbol de códigos, recordemos que los códigos HS-PDSCH se reservan en la Base de Datos del RNC y bajo ningún concepto pueden ser utilizados por Terminales de R'99, esto es, por usuarios PS sobre DCH. No tiene sentido, pues, hablar de consumo de códigos.

Esta funcionalidad no interfiere en las funcionalidades existentes. Esto es, se pueden aplicar ambas restricciones al mismo tiempo: la convencional y la nueva que favorece HSDPA. En tal caso, el SF mínimo efectivo será el máximo entre ambos.

El proceso es mostrado en la figura 108. Ante cualquier nuevo establecimiento de portador de datos, el sistema evalúa si existe algún tipo de restricción desde el punto de vista de SF para el nuevo portador. *Min_SF* hace referencia al procedimiento normal de restricción explicado con anterioridad.

Por el contrario, *HS_min_SF* hace referencia a la restricción del portador PS sobre DCH en una celda HSDPA. Primero chequea si el número de usuarios HSDPA es superior al umbral, ya que si no, no tiene sentido restringir la tasa del nuevo portador, pues no vas a degradar el funcionamiento de HSDPA al encontrarse la celda vacía de usuarios HSDPA. Si no lo sobrepasa, el sistema configura el *HS_min_SF = 8*, que es lo mismo que decir que no restringes nada, ya que el menor SF disponible en UMTS es 8, que da una capacidad de transferencia mayor: 384 kbps. Si sobrepasa el umbral de usuarios mínimo HSDPA, entonces toma el valor configurado en Base de Datos: HS*_min_SF = new_min_SF*.

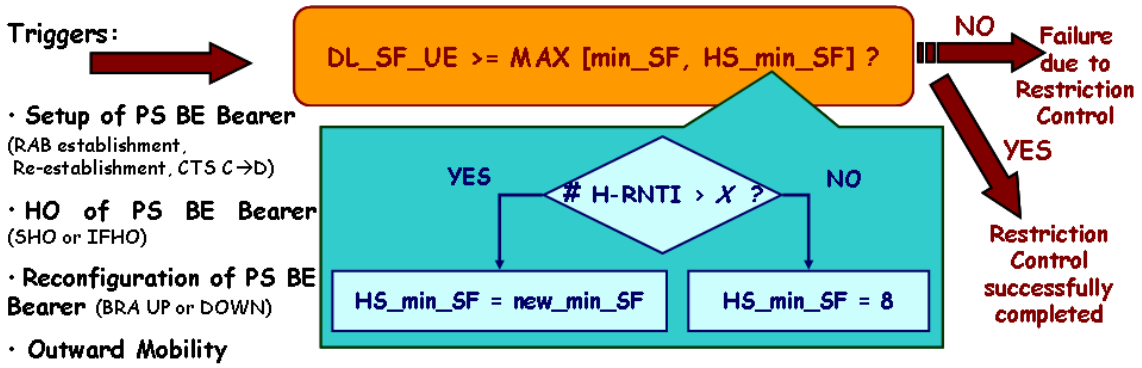


Figura 35 Restricción de Tasa en portadores PS I/B sobre DCH en una celda HSDPA

6.7 Impacto HSDPA en el control de Congestión

La funcionalidad Control de Congestión monitoriza, detecta y gestiona situaciones en las que el sistema alcanza niveles de sobre carga excesivos debido a la cantidad de usuarios conectados simultáneamente, intentando siempre estabilizarlo de la forma menos drástica posible. No hablamos de sobre carga en la capacidad de proceso del CRNC, sino de sobre carga por interferencia en el Interfaz Aire. Es una función reactiva, ya que reacciona ante situaciones de congestión en lugar de prevenirlas. La detección de tales situaciones puede llevarse a cabo mediante reporte de medidas periódicas o mediante el uso de condiciones de disparo (mejor, ya que reduce señalización). La funcionalidad está implementada en el CRNC.

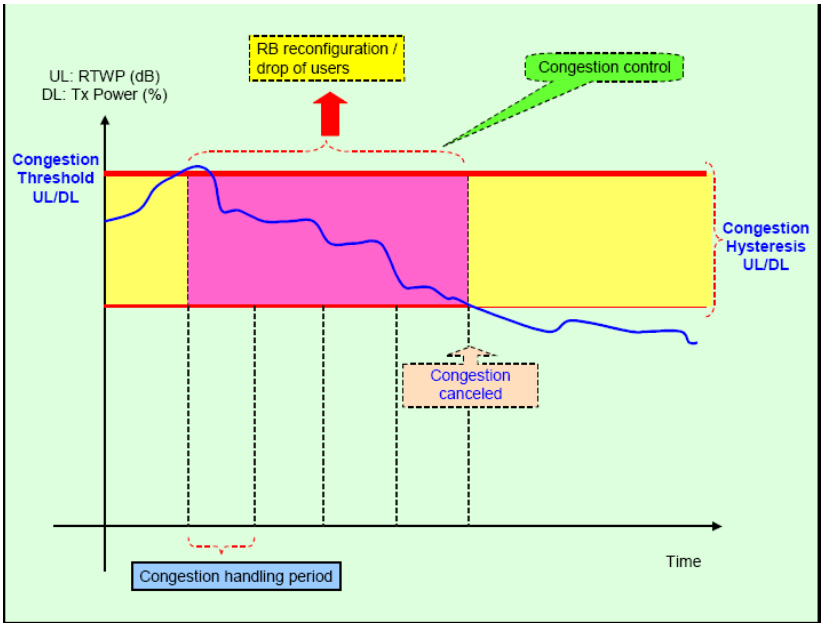


Figura 36 Control de Congestión en UMTS

Hay dos fases bien diferenciadas:

1. **Detección de la Situación de Congestión**: Al igual que en Control de Admisión, el sistema necesita de unas medidas para detectar tales situaciones de carga. Las medidas son las mismas tanto para UL (RTWP) como para DL (TCP). Se activará siempre que una de las dos medidas supere un primer umbral, bien sea en UL o en DL.

2. **Gestión de la Situación de Congestión**: Selecciona los portadores que serán desconectados o cuya tasa binaria será reducida. Si todavía la congestión no ha sido resuelta (comparando el nivel de RTWP o TCP con un segundo umbral, menor que el primero para marcar una histéresis), el RNC repetirá este segundo tantas veces como sea necesaria con una periodicidad marcada por el parámetro *Congestion Handling Period.* En la siguiente figura observamos cómo el sistema primero pasa de DCH a FACH si sólo una llamada de datos PS I/B o un decremento de la tasa binaria si el Terminal soporta una llamada de voz y datos PS I/B. En un segundo paso, libera casi todos los portadores, a excepción del PS I/B, el cual permanece en FACH, ya que es un canal de control común cuya aportación a la carga del sistema es mínima.

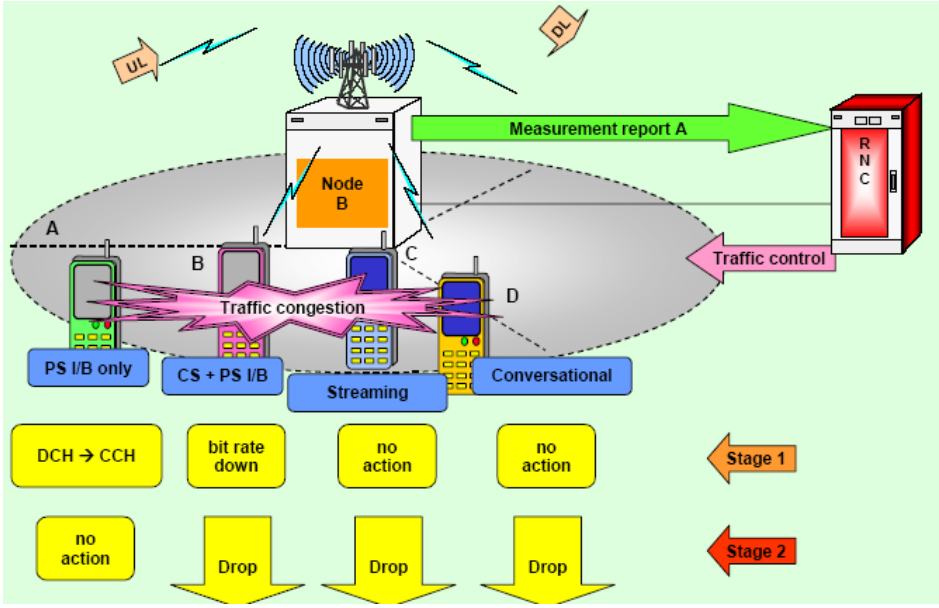


Figura 37 Pasos a ejecutar en el Control de Congestión

La introducción de HSDPA se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Respecto a la **Detección de Situación de Congestión**, los canales DCCH de DL y UL asociados a una llamada HSDPA y el DPCH en UL para la transmisión del canal HS-DPCCH también son tenidos en cuenta para la decisión de congestión, mientras

que los canales HS-PDSCH y HS-SCCH quedan fuera, pues sólo utilizan la potencia que los usuarios R'99 no toman. Otro aspecto relevante es que, al igual que en el Control de Admisión, la decisión de congestión en DL está basada en medidas del NHP en lugar del TCP. En UL no hay modificaciones, se sigue midiendo el RTWP.

- Respecto a la **Gestión de la Situación de Congestión**, en la primera fase los usuarios HSDPA no son tratados, pero en la segunda lo son junto con los usuarios R'99, todos ellos ordenados según el SF en DL del canal DPCH asociado.

6.8 Impacto HSDPA en la Red de Transporte

El incremento de tasa binaria de datos que supone la introducción de HSDPA en la red de transporte nos lleva a la necesidad de introducir nuevos mecanismos o funcionalidades y/o mejorar aquellos existentes.

- Evolución de los conceptos existentes en R'99:

    - En lo que respecta a **Transporte de Datos**:

    - Introducción de un nuevo Protocolo de Trama (FP – *Frame Protocol*) tanto para transportar como para controlar el tráfico HSDPA en el Interfaz Iub
    - Necesidad de un portador de transporte adicional para transportar la información del canal lógico DTCH en DL de un portador HSDPA PS I/B.

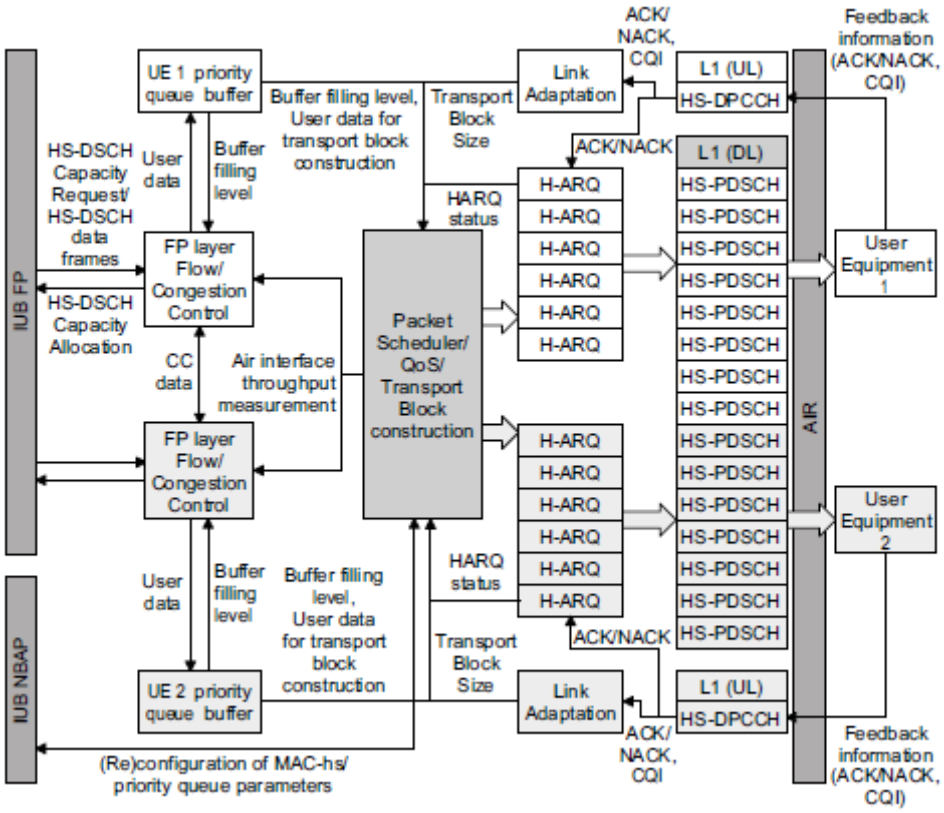
    - En lo que respecta a **Gestión de Tráfico ATM**:

    - Priorización de tráfico R'99 sobre HSDPA en la capa AAL2 para proteger el tráfico R'99 de las ráfagas de tráfico HSDPA.

- Introducción de un nuevo mecanismo de Control de Flujo en Interfaz Iub para controlar el tráfico HSDPA en dicho interfaz según la tasa binaria media medida por usuario.

- Introducción de un nuevo mecanismo de Control de Congestión para detectar y gestionar situaciones de congestión de tráfico en el Interfaz Iub.

En la figura siguiente tenemos una vision de cómo encajan este nuevo protocolo Frame Protocol con el resto de funcionalidades introducidas con HSDPA.



6.8.1 Mejora en transporte de datos: HS-DSCH FP

Tal y como hemos explicado, en UMTS la información del canal lógico DTCH en DL de un portador HSDPA PS I/B (que lleva los paquetes de datos de usuario) se mapea en las MAC-d PDUs, tanto para R'99 como para HSDPA. La diferencia del segundo con respecto al primero es que esas unidades de paquetes de datos son transportadas en el HS-DSCH en lugar del DCH, el cual posee unas características que hacen que la tasa binaria sea mucho mayor. Esta es la esencia de HSDPA.
En la figura siguiente se muestra la estructura de la trama HS-HSDCH FP.

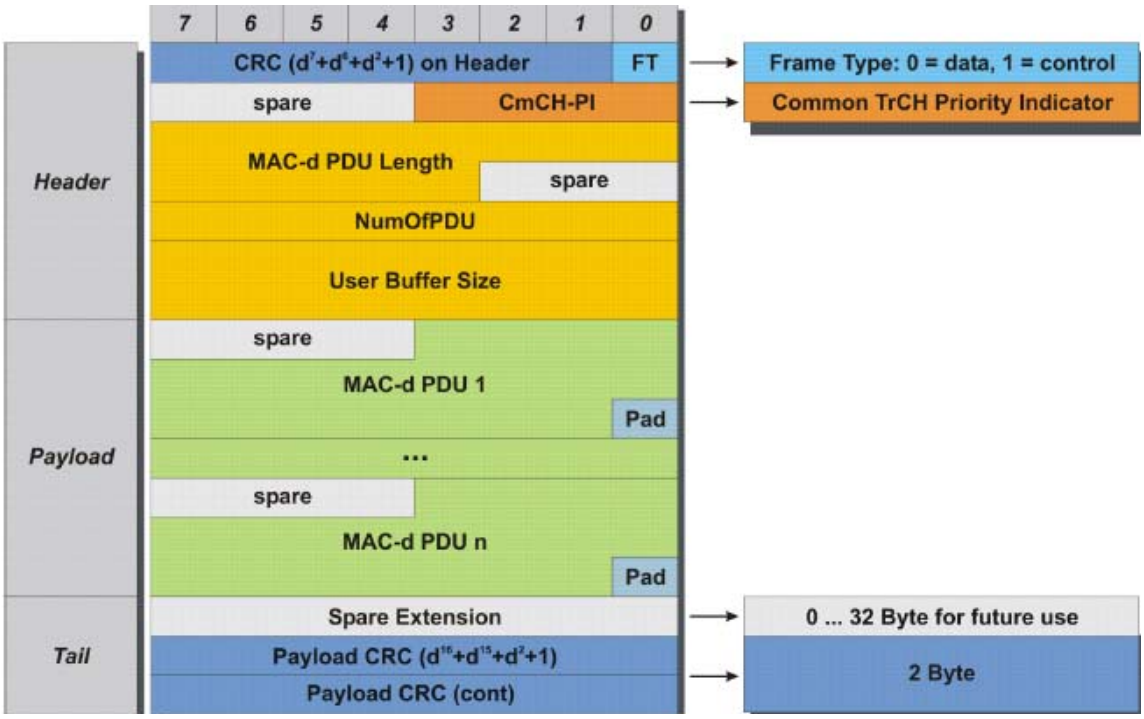


Figura 38 Estrucutura HS-DSCH Frame Protocol

El transporte de esas MAC-d PDUs sobre el canal HS-DSCH es gestionado por el *HS-DSCH Frame Protocol*. Las funciones principales de este protocolo de transporte son:

- Transportar MAC-d PDUs a través de *HS-DSCH Data Frame* como se ve en la figura 112.

- Realizar un Control de Flujo a través de *HS-DSCH Control Frame*

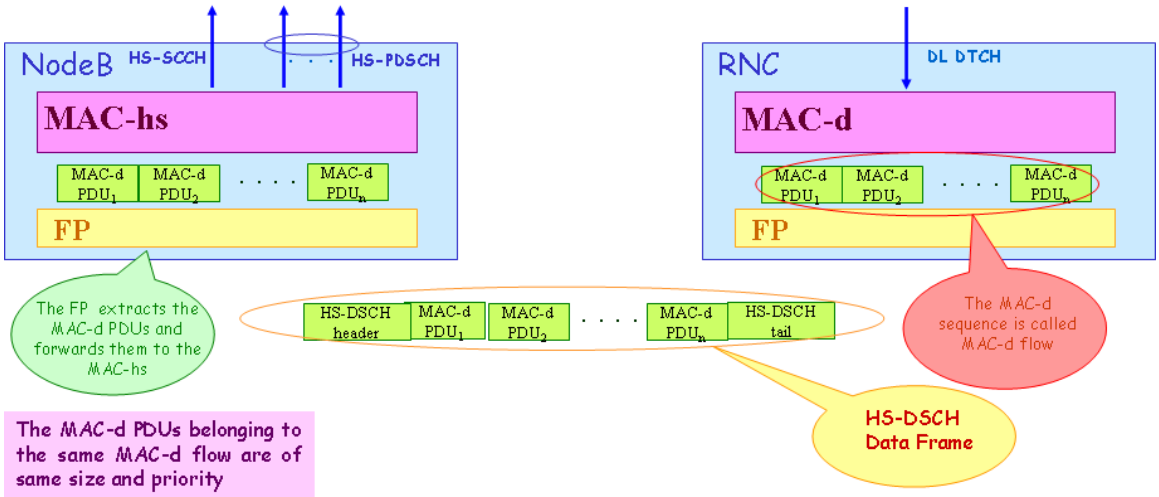


Figura 39 Protocolo de Trama HS-DSCH

La figura es clara. Los datos llegan desde Núcleo de Red al RNC, la cual los mapea en el canal DTCH para ser transmitidos en DL al Terminal. En su entidad MAC-d, el RNC segmenta la información en unidades de paquetes de datos de igual prioridad y tamaño. Esa secuencia de MAC-d PDUs es lo que llamamos Flujo MAC-d, el cual será transportado por la funcionalidad *HS-DSCH Data Frame* desde el RNC hacia el Nodo B a través del Interfaz Iub y será controlado por la funcionalidad *HS-DSCH Control Frame*. Una vez en el Nodo B, el Protocolo de Trama extrae las MAC-d PDUs y las reenvía hacia la entidad MAC-hs para ser transportadas después a través del canal HS-DSCH.

Cuando se establece servicio PS I/B sobre un canal HS-DSCH, se necesitan tres portadores de transporte para llevar el Flujo MAC-d, el canal DCH asociado (UL: 64-384 Kbps, DL: 0 Kbps) y el DCCH.

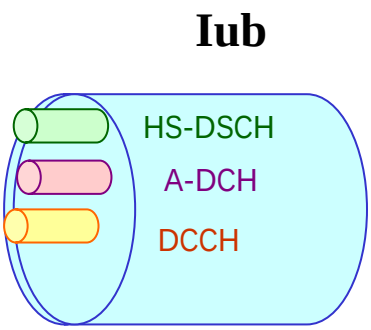


Figura 40 Tres Portadores componen el HS-DSCH Data Frame

El Ancho de Banda reservado en el Interfaz Iub para la conexión AAL2 del portador de transporte HS-DSCH se determina según los valores de ancho de banda AAL2 medio asociados a la categoría del Terminal.

En cuanto al Ancho de Banda AAL2 en el Iub para DCH asociado se modifica si:

- El UL DCH cambia de 64 a 384 Kbps, el Ancho de Banda AAL2 en el Iub se incrementará. Se reduce en caso contrario.

- Cada vez que haya un cambio HS-DSCH → DCH por *Outward* o establecimiento de Multi-llamada no soportado por el Terminal, el Ancho de Banda en DL pasa de ser 0 Kbps a la tasa que tenga actualmente (normalmente pasa siempre a 384 Kbps).

- Igualmente, si hay un cambio de DCH → HS-DSCH por *Inward* se libera Ancho de Banda AAL2 en el Iub, ya que el DCH asociado pasa a ser 0 Kbps en DL.

6.8.2 Mejora en la gestión del tráfico ATM

El actual mecanismo de diferenciación de tráfico AAL2 dependiendo de su QoS mediante la asignación de identificadores de prioridad según el tipo de servicio se aplica también para HSDPA.

El servicio HSDPA obtiene la prioridad más baja con respecto a los servicios de R'99 (AMR, UDI, PS I/B sobre canales DCH, etc). Se hace así para proteger el tráfico de R'99 sobre el tráfico a ráfagas HSDPA ya que:

- Tráfico R'99 y HSDPA comparten el mismo VC
- Tráfico HSDPA sufre picos de tráfico muy acusados.

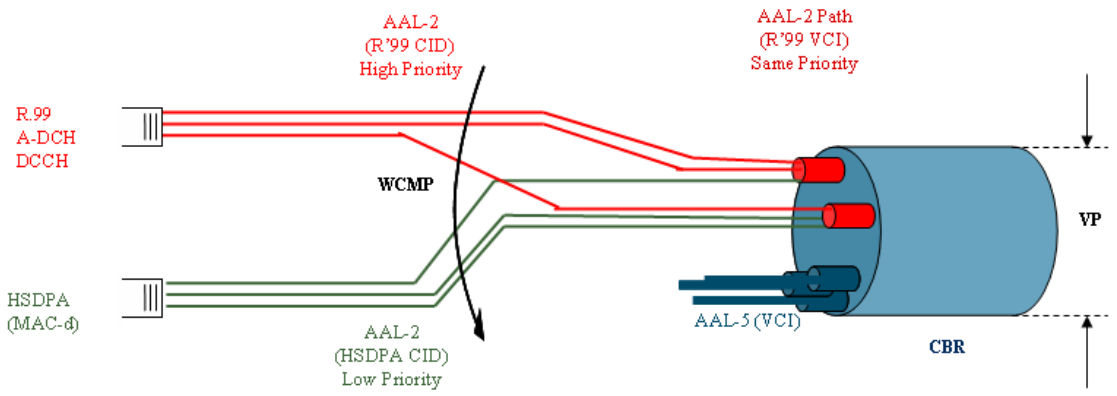


Figura 41 Prioridad Tráfico R'99 sobre HSDPA

6.8.3 Control de Flujo en Interfaz Iub

El propósito de este nuevo mecanismo es ir proporcionando un flujo controlado de datos entre la entidad MAC-d del RNC y la entidad MAC-hs del Nodo B, según la tasa binaria media que se le está dando al Terminal.

Se optimiza así el uso eficiente del Iub, su Ancho de Banda; y se ayuda a gestionar situaciones de congestión en el Interfaz Aire a través de acciones como:

- Parar los datos sobre el portador de transporte activo en el Iub para transportar el Flujo MAC-d en caso de que el Nodo B no sea capaz de enviar datos en el Interfaz Radio a través del canal de transporte HS-DSCH. Por ejemplo, si la potencia no utilizada por los usuarios R'99 no es suficiente como para enviar canales HS-PDSCH. Con esta medida se reduce la latencia de la señalización de Capa 2, descartes de paquetes y retransmisiones.

- Preguntar por datos HS-DSCH en caso de:

- La capacidad de transporte entregada por el Nodo B es más alta que la del RNC.

- El Nodo B reporta que tiene capacidad para entregar datos HSDPA pero no le llega flujo de datos HSDPA desde el SRNC (probablemente el *Scheduler* AAL2 situado en el RNC está priorizando otros servicios).

El Nodo B utiliza el mecanismo de Control de Flujo para configurar la capacidad del RNC en el Iub después de recibir el primer CQI una vez finalizado el procedimiento *Radio Link Setup.* Después va actualizando esa capacidad cada cierto tiempo según la parametrización del sistema, dependiendo de cómo esté de lleno la cola de prioridad un Flujo MAC-d y de cuál es la media de tasa binaria del Terminal (Caso A en la Figura 115)

Por otra parte, el RNC utiliza el mecanismo de Control de Flujo para pedir capacidad al Nodo B según el estado del buffer RLC. Si el buffer no está vacío durante un cierto tiempo y la capacidad del RNC es cero, el RNC pide capacidad para transmitir en el Interfaz Iub (Caso B de la Figura 115).

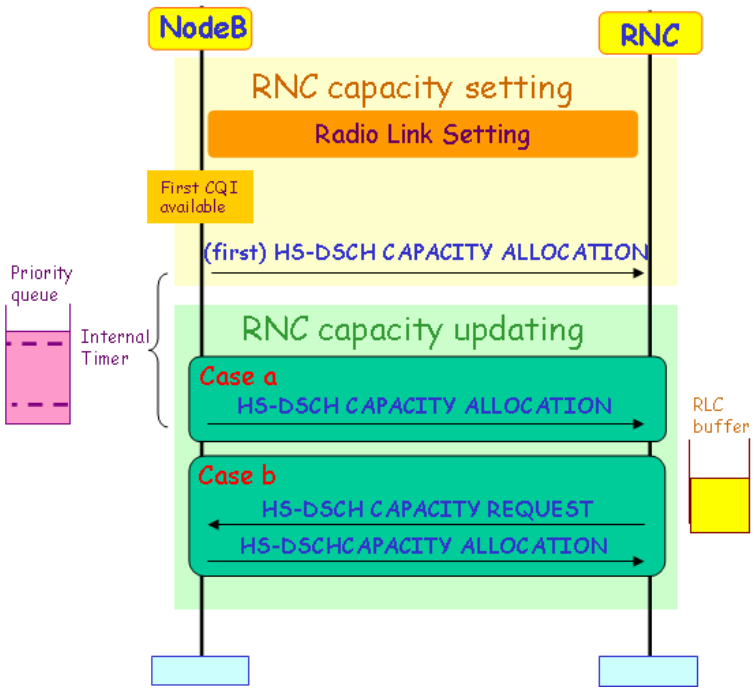


Figura 42 Mecanismo de Control de Flujo

Implementación de Control de Flujo

El protocolo de trama HS-DSCH FP se encarga de llevar a cabo el mecanismo de Control de Flujo en el Iub, concretamente a través de:

- *HS-DSCH **Capacity Allocation** Control Frame,* a través del cual el Nodo B informa al RNC sobre de la tasa que puede alcanzar en el Interfaz Radio, esto es, la tasa que necesita en el Iub para cubrir todos los recursos del que dispone el Terminal en el Interfaz Radio.

    - *HS-DSCH Credits*
    - *HS-DSCH Interval*

    La tasa pico permitida, en términos de MAC-d PDU, es proporcional a la relación entre los créditos y el intervalo HS-DSCH.

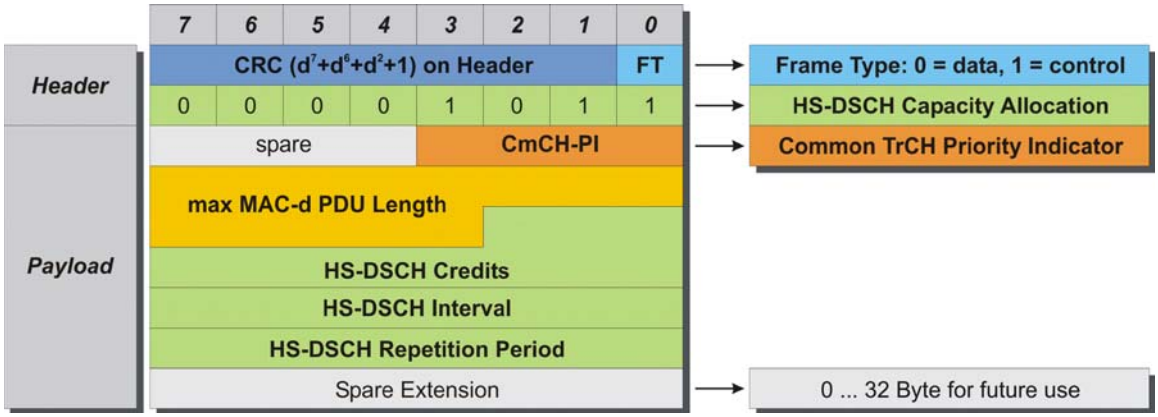


Figura 43 HS-DSCH Frame Protocol Capacity Allocation

- *HS-DSCH **Capacity Request** Control Frame,* a través del cual el RNC pide capacidad al Nodo B.

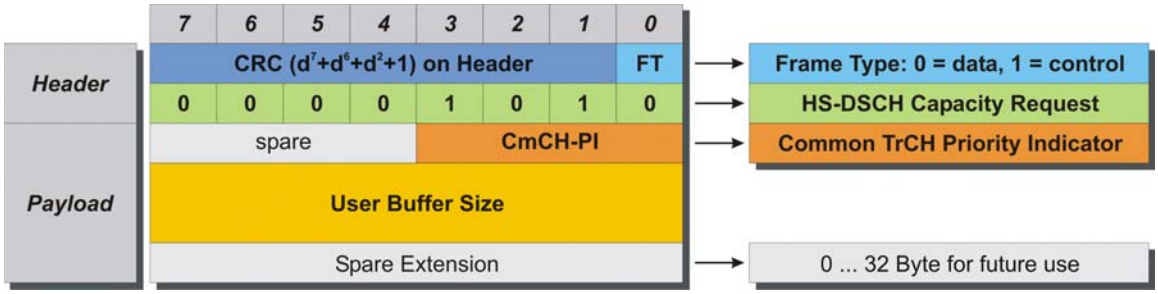


Figura 44 HS-DSCH FP Capacity request

6.8.4 Control de Congestión en el interfaz Iub

El mecanismo de Control de Flujo citado anteriormente no permite evitar situaciones de congestión en el Interfaz Iub (el tráfico de usuario en el Interfaz Aire es mayor que la capacidad de transporte en el Iub). Esto provocará una degradación de la tasa binaria media de un usuario HSDPA causada por las retransmisiones en la Capa RLC.

Por esta razón se ha introducido un nuevo Control de Congestión en el Interfaz Iub encima del Control de Flujo para detectar las situaciones de congestión y reaccionar convenientemente reduciendo el tráfico en el plano de usuario, actuando sobre la fuente de datos. Es decir, FP adapta la tasa de datos al Ancho de Banda disponible.

El Control de Flujo cuida de definir el nivel óptimo de ocupación de las distintas colas de prioridad en el Nodo B, según las condiciones variables del Interfaz Aire. Por el contrario, el Control de Congestión supervisa el Interfaz Iub y, en caso de detección de congestión, realiza una reducción de las capacidades del sistema calculadas por el Control de Flujo respecto al Flujo MAC-d *(Capacity Allocation, Capacity Request)*. Una vez se sale de la situación de congestión, únicamente el Control de Flujo gestiona las capacidades en cuanto al Flujo MAC-d.

La detección de congestión se realiza en Release 5, a través del análisis del CRC de las MAC-d PDUs durante una ventana de tiempo dedicada. A partir de R6, el 3GPP ha aprobado nuevos campos en las tramas de datos del FP donde indicar el número de secuencia (Frame Sequence Number – FSN) y la medida de retraso (Delay Reference Time – DRT), que tambien son usados para la detección de congestión.

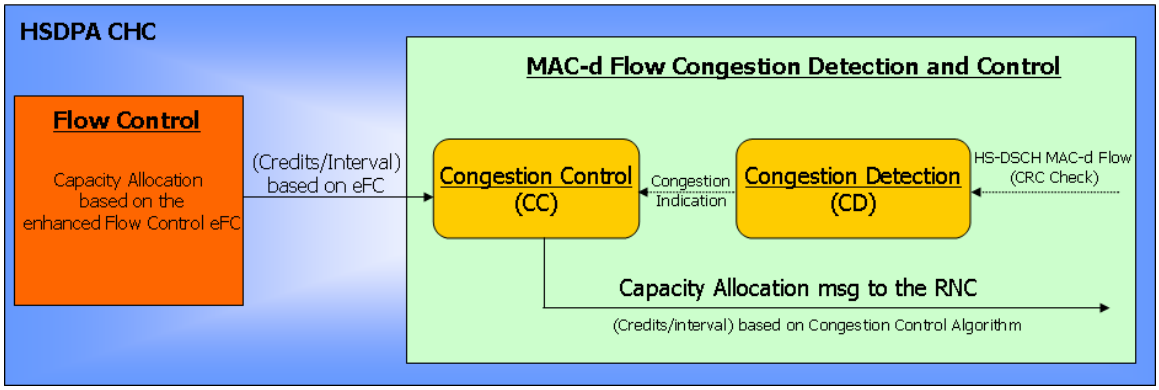


Figura 45 Control de Congestión en Iub