

7 Capítulo 7. Conclusiones y líneas futuras de investigación

7.1 Introducción

En la presente tesis doctoral se ha realizado una serie de aportaciones para contribuir al desarrollo de los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación. Esta nueva generación de sistemas utilizará una técnica de acceso del tipo CDMA y pretende poder garantizar una cierta calidad de transmisión en las comunicaciones. En este sentido, esta tesis presenta nuevas propuestas tanto para el protocolo de acceso al medio (MAC) como para los algoritmos de gestión de los recursos radio (RRM).

Las propuestas han sido presentadas, estudiadas y analizadas en diferentes entornos representativos de trabajo y se ha demostrado su validez para su utilización en un sistema real de comunicaciones. Además, por su sencillez de implementación y alta eficiencia en la utilización de los recursos, se ha comprobado que todas ellas son candidatas muy adecuadas para poder formar parte de los estándares en formación para los citados sistemas.

Los trabajos realizados han sido publicados en diferentes congresos nacionales e internacionales, así como en revistas internacionales de reconocido prestigio (la lista de publicaciones se relaciona en el capítulo 1).

7.1.1 El marco de trabajo

En los primeros capítulos se ha presentado el marco general de trabajo en el que se han sustentado las propuestas realizadas.

Tras muchos esfuerzos en materia de estandarización, el modo de acceso CDMA ha resultado ser el elegido para los futuros sistemas de comunicaciones móviles. Por tanto, todas las propuestas y estudios realizados en la presente tesis se han basado en este método de acceso. De cara a conocer los detalles propios de los sistemas CDMA, en primer lugar se ha hecho una descripción detallada de los elementos más importantes de este tipo de sistemas. En el capítulo 2 se han presentado los conceptos básicos de CDMA, la estructura del receptor utilizado (llamado RAKE), la problemática de las secuencias código, los mecanismos de control de potencia y de sincronización, así como las ventajas inherentes de CDMA para poder añadir codificación de canal.

Por otro lado, y puesto que una de las propuestas realizada es un protocolo de acceso al medio (MAC), en el mismo capítulo 2 se ha descrito con detalle el estado del arte en cuanto a este tipo de protocolos. Se han descrito sus tipos y variedades, así como los mecanismos más utilizados.

Finalmente, como parte de la descripción del marco de trabajo se han presentado los diferentes esquemas de gestión de recursos de transmisión que se han venido utilizando hasta la fecha, de cara a poder introducir en su contexto las nuevas propuestas de algoritmos de gestión realizadas.

7.1.2 Un nuevo protocolo de acceso al medio (MAC)

Una de las aportaciones fundamentales de la presente tesis es la definición de un nuevo protocolo de acceso al medio. Este protocolo presenta unas características muy ventajosas

respecto a los que se han venido utilizando hasta la fecha. El esquema, llamado DQRAP/CDMA, se basa en una gestión distribuida de los recursos, lo que minimiza la información de señalización y representa una novedad importante en cuanto al modo de funcionamiento. El protocolo se comporta como un protocolo de acceso libre cuando la carga de tráfico es baja, minimizando el retardo de transmisión, mientras que cuando la carga va aumentando, el protocolo se transforma de manera progresiva y automática en un protocolo de reserva, limitando las transmisiones que exceden la capacidad del canal y eliminando las colisiones. Por otro lado, utiliza una estructura lógica de colas que funcionan en paralelo. Esta estructura permite desacoplar la contención de la transmisión de datos y evitar los problemas de inestabilidad propios de los sistemas de acceso aleatorio. Con todo ello se obtiene un rendimiento de aprovechamiento de los recursos de transmisión muy cercano al óptimo absoluto alcanzable, además de conseguir eliminar por completo la posibilidad de inestabilidad del sistema.

Se ha desarrollado un modelo matemático teórico del protocolo, validado con simulaciones por ordenador, que describe con precisión el comportamiento del sistema y evidencia sus ventajosas prestaciones.

Por otro lado, se ha propuesto y estudiado la estructura del receptor necesario para uno de los elementos clave del sistema: el subsistema de resolución de colisiones. Este subsistema, basado a nivel lógico en un algoritmo tipo árbol, es el encargado de encauzar las transmisiones de modo que se alcance la eficiencia deseada. Este esquema de receptor, basado en filtros adaptados y un algoritmo de reparto de parejas de secuencias código, ofrece las prestaciones necesarias para el correcto funcionamiento del protocolo.

7.1.3 Optimización del protocolo

Más adelante, y de cara a refinar la propuesta del protocolo MAC, se ha incluido dicho protocolo en un sistema de comunicaciones donde las condiciones de tráfico de entrada se han variado en un amplio rango de valores y tipos. En este sentido, se ha hecho especial hincapié en el tráfico que puede resultar más desfavorable para el funcionamiento del sistema.

En estas condiciones, se ha comprobado que, cuando los mensajes transmitidos son muy racheados y de longitud muy pequeña, el rendimiento del sistema sufría una ligera degradación. Para recuperar las prestaciones óptimas, se han propuesto una serie de mejoras al diseño del protocolo que permiten mantener las excelentes prestaciones del mismo para cualquier tipo o característica de la carga de tráfico ofrecida en el sistema. De este modo, se ha preparado el protocolo para poder ser utilizado en cualquier entorno de trabajo.

7.1.4 Estudio del MAC en un sistema celular

Los sistemas de comunicaciones móviles tienen una estructura celular. Inicialmente, los estudios de funcionamiento del protocolo MAC han sido realizados en un sistema con una sola célula. Puesto que se pretende que el mecanismo de acceso pueda ser utilizado en un sistema real, ha sido necesario realizar el estudio del mismo en un entorno multicelular, donde tanto las interferencias de otras células como los mecanismos de traspaso tienen una influencia relevante en el rendimiento general.

Además, la propia estructura del protocolo de acceso permite disponer de cierta información que puede ser utilizada para mejorar algunos mecanismos propios de un sistema celular con transmisión en modo paquete. Entre ellos cabe destacar los que permiten tomar decisiones

sobre la realización de los traspasos, sobre hacia qué estación base deben transmitirse los paquetes de información y sobre el control de la potencia de transmisión. En este sentido, se han realizado una serie de simulaciones del sistema en diferentes entornos que han permitido validar estas afirmaciones.

7.1.5 Calidad de Servicio

Una de las características fundamentales de las comunicaciones móviles de tercera generación es la posibilidad de garantizar calidad de servicio en las transmisiones. Para conseguir este cometido, es necesario establecer algoritmos de gestión de los recursos radio que permitan ofrecer estas garantías. Con este objetivo, en la presente tesis se ha presentado y analizado un algoritmo novedoso de gestión de los recursos radio, basado en un sistema en el que se hace uso del protocolo de acceso DQRAP/CDMA.

El algoritmo de gestión de recursos propuesto se divide en dos partes que se encargan de gestionar respectivamente el subsistema de transmisión y el subsistema de resolución de colisiones de DQRAP/CDMA. La gestión de los recursos del subsistema de transmisión se basa a su vez en un nuevo concepto llamado Crédito de Servicio, definido al efecto.

De cara a la realización de las pruebas del sistema completo, se han definido cuatro clases de servicio con sus correspondientes modelos de tráfico y parámetros de calidad. Las simulaciones realizadas muestran como el algoritmo propuesto cumple los objetivos marcados con una muy baja complejidad de implementación. Por otro lado, se mantiene el concepto de gestión distribuida, lo que mantiene también al mínimo la cantidad de información de control necesaria en el sistema.

7.2 Integración de las propuestas en UMTS

Uno de los aspectos más relevantes de cualquier propuesta de un protocolo o algoritmo debe ser el análisis de la viabilidad de su puesta en funcionamiento en los sistemas de telecomunicaciones presentes en la actualidad o en proceso de estandarización. En este sentido, el sistema de comunicaciones móviles de tercera generación en Europa se engloba bajo las siglas UMTS. Por su parte, las siglas UTRA se refieren a las especificaciones del interfaz aire del sistema.

Es necesario por tanto realizar una tarea de análisis de las características de UTRA de cara a plantear la posible integración de las ideas propuestas en la presente tesis doctoral en el estándar. Para ello se presenta en el Anexo A una breve descripción de las características más relevantes de UTRA, en su modalidad FDD. Por otro lado, el elemento encargado de la gestión de los recursos no es objeto de estandarización y queda abierto a la implementación de cada operador. Es el llamado RRM (*Radio Resource Management*). A continuación se pone de manifiesto la posibilidad de aplicar en el RRM de UMTS los protocolos de acceso y los algoritmos de gestión de recursos propuestos en la presente tesis doctoral.

Puede observarse que las especificaciones de la capa física aprobadas hasta la fecha tienen una estructura que no es directamente compatible con el funcionamiento del protocolo MAC DQRAP/CDMA. Este protocolo utiliza unos minislots de control para realizar los accesos que no existen en la estructura a nivel físico de los canales con transmisión en modo paquete (PRACH y PCPCH, ver Anexo A). Es por tanto necesario abordar con detenimiento el problema de la integración de este protocolo en UTRA. Por otro lado, los algoritmos de gestión de recursos radio propuestos pueden ser directamente aplicables a las capas

correspondientes de UTRA, que son el RRC (*Radio Resource Control*) y el RRM, aunque su integración también requiere de un estudio detallado.

La versión actual del estándar, llamada *Release 99*, establece un mecanismo a nivel de MAC para los canales en modo paquete que tiene una estructura similar al protocolo ISMA [28]. Sin embargo, es posible aplicar a este nivel otras estrategias como las presentadas en esta tesis doctoral, que podrían aplicarse e incluirse en versiones futuras del estándar. La adaptación debe pasar por aprovechar los elementos propios de la estructura de acceso para substituir la funcionalidad que tienen los minislots de acceso en el protocolo DQRAP/CDMA. La información de control que la estación base debe enviar a los usuarios en el enlace descendente puede realizarse mediante cualquiera de los canales de control de dicho enlace, es decir, bien con el canal de difusión BCH (*Broadcast*), bien con los canales de control dedicados (PDCCH).

El estudio en profundidad de la adaptación de las nuevas propuestas, tanto del protocolo MAC como de los algoritmos de gestión de recursos, para su inclusión en el estándar UMTS, queda fuera del ámbito de esta tesis. Se deja por tanto como línea futura de investigación. Sin embargo, cabe destacar que el Grupo de Comunicaciones Radio de la UPC va a dirigir, a partir de enero de 2001, un proyecto de la UE llamado ARROWS, donde se van a investigar aspectos de los sistemas de tercera generación que incluyen trabajos en este sentido. Los estudios conceptuales previos ya realizados ofrecen resultados prometedores. En el momento de escribir esta tesis parece claro que la aplicación práctica de las ideas presentadas en la misma es una posibilidad viable que merece ser estudiada con detenimiento.

La Figura 148 muestra la estructura de protocolos tal y como se describe en las especificaciones técnicas del estándar. No entraremos a describir en detalle todas las partes que se muestran, pero debemos reseñar que las propuestas contenidas en esta tesis pueden incidir en los procesos que se incluyen en las diferentes partes del nivel 2 del modelo (L2), que son las subcapas MAC, RLC y RRC.

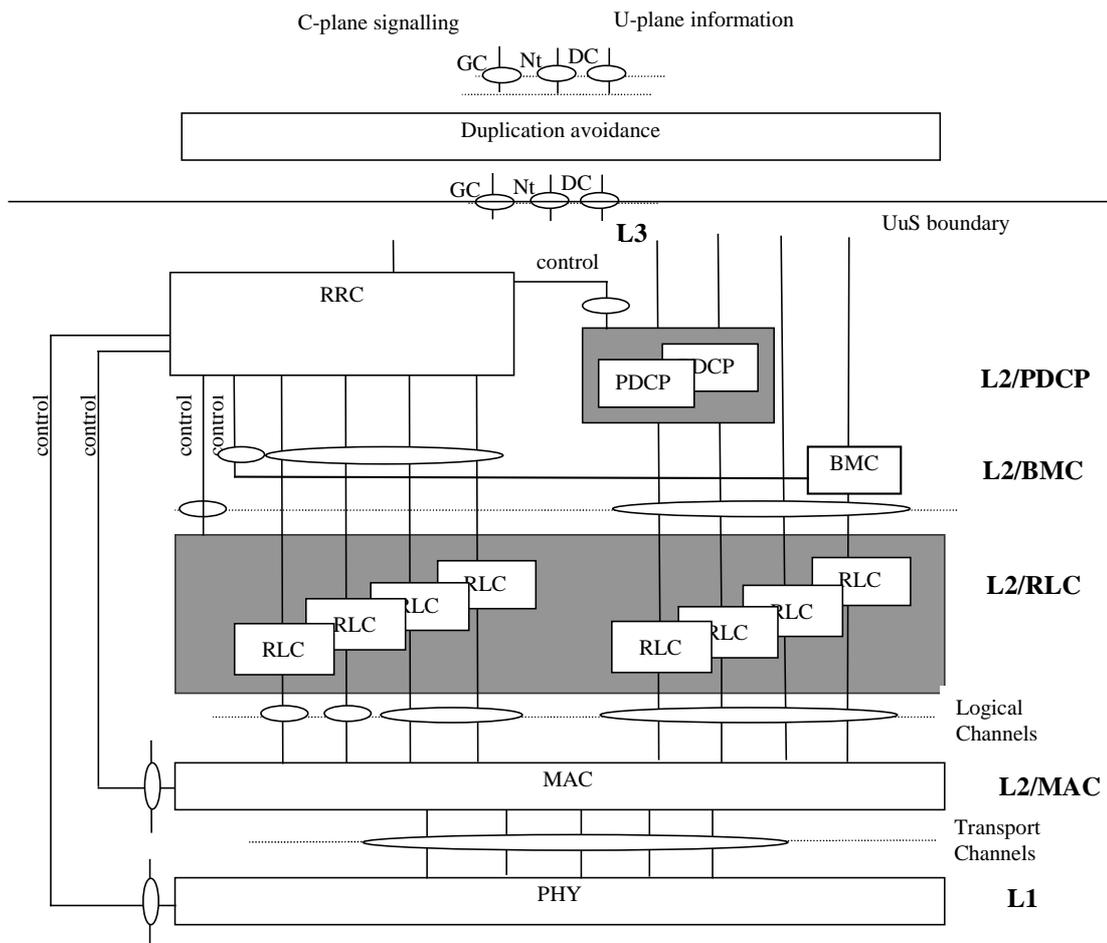


Figura 148. Estructura de protocolos en UTRA

El estándar define los mecanismos utilizados en todos estos elementos [59], pero es perfectamente aplicable una estructura de protocolo MAC como DQRAP/CDMA en este marco general. Los mecanismos que deben considerarse inalterables son los incluidos en las especificaciones de la capa física, es decir, elementos como la estructura básica de las tramas, el formato de transmisión y el procedimiento de acceso del canal físico. Por ejemplo, los procedimientos de acceso a los canales en modo paquete, es decir, el PRACH y el PDPCH, están establecidos con detalle y la estructura de las tramas y los preámbulos que se usa en ellos está bien definida.

7.3 Conclusiones finales

Como resumen final, podemos glosar los aspectos desarrollados en la presente tesis doctoral:

- Se han estudiado en profundidad las necesidades y requerimientos del interfaz radio en los sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación, centrandó el estudio en las transmisiones en modo paquete para entornos con acceso CDMA de banda ancha.
- Se ha propuesto un nuevo protocolo MAC para trabajar en este entorno de operación. Asimismo, se ha realizado un modelo teórico del protocolo para el análisis de su rendimiento en sistemas genéricos con tráfico homogéneo. Se ha analizado con detalle el modelo para demostrar las propiedades cuasi-óptimas del protocolo, tanto en retardo como en *throughput* y estabilidad. El protocolo además introduce un concepto nuevo

de control distribuido que minimiza la información de control necesaria, mejorando con ello las prestaciones del sistema.

- Se han realizado simulaciones por ordenador de un sistema de comunicaciones cuyo MAC es el protocolo propuesto para verificar la validez del modelo teórico. Se ha comprobado que se minimiza el retardo de propagación, se alcanza la máxima eficiencia en la utilización del canal radio y se mantiene la estabilidad para cualquier carga de tráfico.
- Se ha propuesto una estructura de receptor físico para la detección de las secuencias de peticiones de acceso. Se ha analizado el rendimiento del receptor y se han derivado las probabilidades de error en la detección de las secuencias para entornos reales móviles. En esta situación, se ha realizado el estudio de estabilidad del protocolo y se han introducido las modificaciones necesarias para mantener la robustez del mismo, alcanzando el objetivo buscado.
- Se ha realizado un trabajo de optimización del protocolo de acceso para mantener sus propiedades para cualquier entorno de tráfico de entrada, haciendo especial hincapié en el peor escenario posible. Este escenario es aquel en el que los usuarios generan mensajes muy racheados de longitud mínima. Se han introducido nuevas mejoras en el protocolo para mantener su rendimiento cuasi-óptimo en este escenario límite.
- Se han realizado nuevas simulaciones de sistema por ordenador de cara a demostrar la capacidad inherente del protocolo para manejar situaciones de tráfico heterogéneo donde es posible adaptar las velocidades de transmisión de forma dinámica para mejorar el rendimiento del sistema. Para este cometido se han definido unos modelos de tráfico basados en las aplicaciones más usuales.
- Se ha estudiado el comportamiento de un sistema celular de comunicaciones móviles donde el protocolo MAC es el nuevo protocolo propuesto. Se han realizado simulaciones en las que se demuestra que es posible mejorar el rendimiento general del sistema gracias al uso de la información de control que ofrece el propio protocolo en los criterios para la gestión de los *handovers* y el control de potencia.
- Se han propuesto y analizado nuevas estrategias de gestión de los recursos radio, tanto para el subsistema de transmisión como para el subsistema de resolución de colisiones, de cara a dotar al sistema de la capacidad de garantizar una cierta calidad de servicio en las comunicaciones. Estas estrategias mantienen la idea de la gestión distribuida, lo que minimiza la información de señalización necesaria en el sistema. Se han definido unas clases de servicio de comprobación, con sus correspondientes parámetros de calidad y se ha demostrado el correcto funcionamiento del sistema en presencia de tráfico heterogéneo proveniente de todas estas clases. Se ha verificado que se cumplen los requisitos exigidos al sistema, cumpliéndose los criterios de prioridad y garantizando la calidad de las transmisiones.
- Por tanto, podemos concluir que la presente tesis doctoral se enmarca dentro de los estudios de investigación orientados a ofrecer nuevas aportaciones para ser incluidas en el nivel 2 del modelo OSI de los futuros sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación. En este sentido, podemos afirmar que se han alcanzado plenamente los objetivos marcados en un principio.

7.4 Líneas futuras de investigación

Existe una serie de trabajos de investigación que pueden suscitarse de los estudios realizados en la presente tesis doctoral. Entre ellos cabe destacar:

- En primer lugar, tal como se ha citado con anterioridad, queda como línea futura el estudio en profundidad de la aplicabilidad de todas los mecanismos nuevos propuestos en los estándares de tercera generación, y en particular en UTRA. Para ello será necesario adaptar los algoritmos de manera que sean compatibles con las estructuras de la capa física ya fijadas en el estándar. El objetivo debe ser la mejora del rendimiento de los canales en el interfaz radio. En particular, cabe destacar que los algoritmos de RRM no van a ser objeto de estandarización. En este sentido, la posibilidad de incorporar los nuevos protocolos a plataformas reales de emulación como las que se están desarrollando en algunos proyectos de la UE puede resultar de gran utilidad para verificar la viabilidad real de implantación de los mismos.
- Análisis de los mecanismos de control de admisión en las comunicaciones con calidad garantizada. Es necesario establecer con claridad los mecanismos que permitan definir los criterios mediante los cuales el sistema deberá aceptar o no a nuevos usuarios, teniendo en cuenta el rendimiento específico que se obtiene del uso de los esquemas propuestos. La obtención de las llamadas regiones de admisión depende fuertemente de elementos del sistema como el protocolo MAC o el RRM.
- Estudio de las implicaciones que puede tener en un sistema CDMA el hecho de que el protocolo DQRAP/CDMA permite mantener controlado el número máximo de transmisiones simultáneas sin necesidad de reservar un código de transmisión para cada usuario. Este hecho permite que todas las transmisiones en modo paquete puedan realizarse con un número muy reducido de códigos. La investigación sobre conjuntos pequeños de secuencias con propiedades de correlación mejores que las secuencias de Gold o las secuencias m puede conducir a obtener una mejora en el rendimiento del sistema.
- Estudio de la aplicación de las ideas propuestas en un sistema de comunicaciones trabajando en modo TDD. Los sistemas que operan de este modo tienen algunas problemáticas claramente diferenciadas respecto al modo FDD. Debe estudiarse qué implicaciones tendría el uso de estrategias MAC como DQRAP/CDMA en dichos entornos.
- Estudio de la aplicación de técnicas de localización de los móviles para mejorar las prestaciones del sistema a la hora de garantizar calidades de transmisión. Existen en la actualidad líneas de investigación para dotar a los sistemas de segunda y tercera generación de mecanismos de localización de los usuarios móviles. La información que ofrecen estos mecanismos puede servir para optimizar los protocolos MAC y los algoritmos RRM.
- Estudio de la macrodiversidad como factor de mejora de las comunicaciones. El hecho de que el propio protocolo de acceso DQRAP/CDMA organice la información en colas distribuidas puede permitir aprovechar de manera sencilla la ganancia que se obtiene de las técnicas de macrodiversidad para el enlace ascendente, técnicas que son de especial relevancia en sistemas con acceso CDMA.

7.5 Anexo A. El estándar UTRA

7.5.1 La capa física

En UTRA, los datos generados en las capas altas (aplicación) son transportados por unos canales que se dividen en varios niveles conceptuales [63]:

- *Canales Físicos:* Son el soporte físico para el envío de la información a través del interfaz aire. Vienen definidos por los parámetros de transmisión, como son la estructura de la trama, el formato de las ráfagas, la frecuencia de transmisión, el código utilizado, la potencia de transmisión, etc.
- *Canales de Transporte:* Proporcionan los servicios de transporte de información desde el nivel físico hacia los niveles MAC y superiores. Vienen descritos por cómo y con qué características los datos se envían a través del interfaz aire, con independencia del contenido transportado. Cada uno de ellos tiene un canal físico asignado con el que se realizan sus transmisiones.
- *Canales lógicos:* Son aquellos de los que se sirve el nivel MAC para proporcionar servicios de transferencia de datos a los niveles superiores. Cada canal lógico está definido por el tipo de información que transfiere. El tipo de información se refiere a parámetros del sistema de comunicaciones. Cada uno de ellos tiene asignado uno o más canales de transporte que utiliza para transmitir su información.

La Figura 149 muestra un esquema de asignación entre canales lógicos y canales de transporte en UTRA. Por otro lado, la Figura 150 muestra la asignación entre canales de transporte y canales físicos. A continuación se describen someramente cada uno de estos canales.

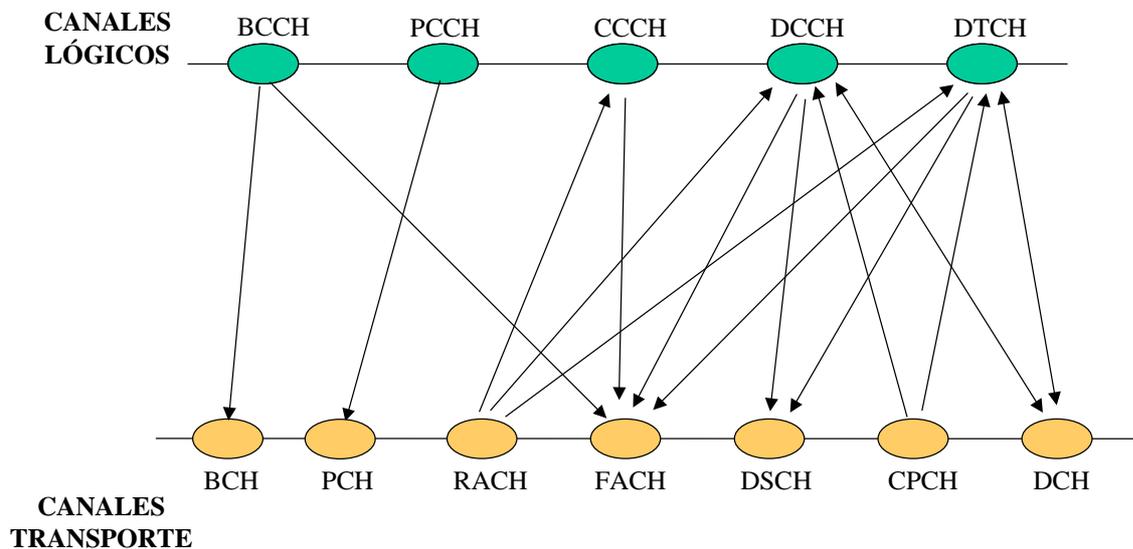


Figura 149. Asignación de canales de transporte a canales lógicos en UTRA

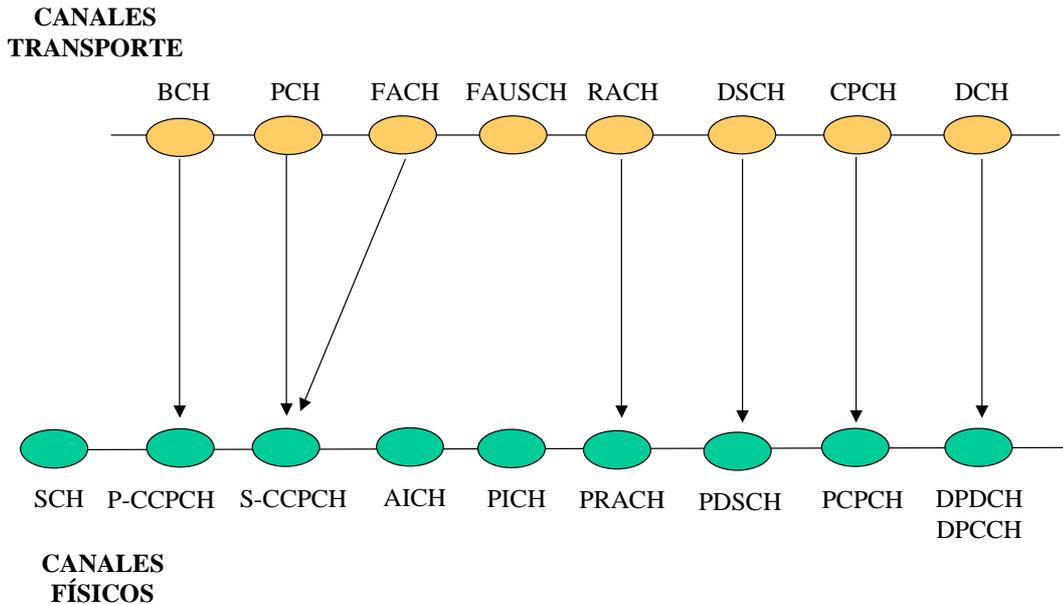


Figura 150. Asignación de canales de físicos a canales de transporte en UTRA

7.5.1.1 Canales físicos

7.5.1.1.1 Canales dedicados

Existen dos canales dedicados, DPDCH y DPCCH, que se transmiten simultáneamente multiplexados en las componentes en fase y cuadratura (I,Q). En ellos se usa un factor de ensanchamiento espectral (SF) que va desde 4 a 256 en potencias de 2. En general, el SF no tiene por qué ser el mismo para DPDCH y DPCCH. Se transmite la información en tramas de 10 ms divididas en 15 slots. Existen diferentes formatos de slot según el número de bits de cada campo. Los dos canales dedicados son:

- **DPDCH:** *Dedicated Physical Data Channel*. Canal dedicado para la transmisión de datos. En este canal se transmiten los diferentes flujos de información de usuario. Transporta información de los niveles 2 y superiores (canales de transporte dedicados DCH).
- **DPCCH:** *Dedicated Physical Control Channel*. Canal dedicado para la transmisión de información de control. Este canal se utiliza para los diferentes flujos de control asociados a cada canal de datos. Está asociado a un canal dedicado de datos. Sus características principales son:
 - Transporta información de control de nivel físico:
 - Bits piloto.
 - Bits TPC (*Transmit Power Control*). Comandos de control de potencia.
 - Bits FBI (*Feedback Information*). Información de realimentación.
 - Bits TFCI (*Transport Format Combination Indicator*). Indicación del formato de transmisión.

- Existe 1 DPCCH para cada conexión, aunque el mismo DPCCH puede estar asociado a más de un DPDCH.

7.5.1.1.2 Canales comunes

- **PRACH:** *Physical Random Access Channel*. Canal físico para el acceso aleatorio. Se utiliza para las peticiones de acceso a los recursos de transmisión dedicados y para la transmisión de otros mensajes cortos en modo paquete.
- **PCPCH:** *Physical Common Packet Channel*. Canal de transmisión de datos en modo paquete. Se usa para aprovechar las ventajas de este modo de transmisión cuando las fuentes de tráfico generan información de modo racheado.
- **CPICH:** *Common Pilot Channel*. Canal piloto para realizar medidas de sistema.
- **P-CCPCH:** *Primary Common Control Physical Channel*. Canal primario de control en modo común. Junto con el correspondiente canal secundario forman el medio por el que se transmiten todas las órdenes de control del sistema que no son específicas a un canal dedicado.
- **S-CCPCH:** *Secondary Common Control Physical Channel*.
- **SCH:** *Synchronisation Channel*. Canal de sincronización del sistema.
- **PDSCH:** *Physical Downlink Shared Channel*. Equivalente al canal PCPCH pero para el enlace descendente. Usado para la transmisión de información de usuario en este sentido en modo paquete, cuando esta información es racheada y el canal puede compartirse entre varios usuarios.
- **AICH:** *Acquisition Indication Channel*. Canal auxiliar de control utilizado para indicar los recursos de transmisión que están ocupados en cada momento. Suele usarse en coordinación con el PRACH o el PCPCH.
- **PICH:** *Page Indication Channel*. Canal de localización, para la transmisión de mensajes de localización o *paging*.

7.5.1.2 Canales de Transporte

7.5.1.2.1 Canales dedicados

Existe un único tipo de canal de transporte dedicado:

- **DCH:** *Dedicated Channel*. Canal dedicado de transporte de datos. Asignado a terminales móviles para la transferencia de información. Tiene las siguientes características:
 - Presente en los enlaces ascendente y descendente.
 - Direccionamiento implícito, no es preciso identificar al terminal al que se dirige la información.
 - Permite cambiar la velocidad de transmisión de forma rápida cada 10 ms.

- Permite disponer de control de potencia en lazo cerrado.
- Se puede enviar sólo a una parte de la celda (*beam forming*).

7.5.1.2.2 Canales comunes

Canales no asignados a terminales móviles concretos, requieren direccionamiento explícito si llevan información dedicada.

- **BCH: Broadcast Channel.** Canal de difusión de información general desde la estación base hacia los terminales móviles. Sus características son:
 - Canal en el enlace descendente.
 - Transporta información específica del sistema y de la celda, como el número de trama (*System Frame Number, SFN*), los códigos existentes, etc.
 - Se envía siempre a toda la celda.
- **FACH: Forward Access Channel.** Canal descendente de notificaciones de acceso. Sus características son:
 - Canal en el enlace descendente.
 - Transporta información hacia terminales cuya ubicación se conoce (p.e. asignaciones de canales dedicados, paquetes cortos, ...).
 - Puede enviarse a toda una celda o sólo a una parte.
- **PCH: Paging Channel.** Canal de localización de usuarios. Sus características son:
 - Canal en el enlace descendente.
 - Transporta información de *paging* hacia terminales cuya ubicación se desconoce.
 - Se envía siempre a toda la celda.
- **RACH: Random Access Channel.** Canal de acceso aleatorio para las peticiones de acceso a los recursos de transmisión y la transmisión de mensajes cortos. Sus características son:
 - Canal en el enlace ascendente.
 - Permite efectuar el acceso al sistema de nuevos usuarios.
 - Dispone de un campo de datos limitado para el envío de paquetes cortos e infrecuentes.
 - Utiliza control de potencia en lazo abierto.

- Pueden existir colisiones con otros usuarios, al estar basado en un protocolo tipo S-ALOHA.
- Debe ser accesible desde toda la celda.
- **CPCH: Common Packet Channel.** Canal de transmisión común en modo paquete. Sus características son:
 - Canal en el enlace ascendente.
 - Destinado al envío de paquetes de tráfico de datos a ráfagas.
 - Es un canal de acceso aleatorio con contención, compartido por diferentes usuarios. Utiliza un protocolo de acceso del tipo ISMA.
 - Asociado a un canal dedicado descendente para poder aplicar control de potencia en lazo cerrado.
- **DSCH: Downlink Shared Channel.** Canal descendente común para la transmisión de datos en modo paquete. Sus características son:
 - Canal en el enlace descendente, compartido por diferentes usuarios para el envío de tráfico de paquetes.
 - Asociado a un canal DCH, que le proporciona control a nivel físico.

7.5.1.3 Canales Lógicos

7.5.1.3.1 Canales de control

- **BCCH: Broadcast Control Channel.** Canal de difusión de información general en la célula.
- **PCCH: Paging Control Channel.** Canal de localización.
- **DCCH: Dedicated Control Channel.** Canal dedicado de control, asociado a un canal de tráfico.
- **CCCH: Common Control Channel.** Canal de control común.

7.5.1.3.2 Canales de tráfico

- **DTCH: Dedicated Traffic Channel.** Canal general para la transmisión de información de usuario.

7.5.1.4 Estructura de capas en UTRA

Desde el punto de vista de las capas del modelo OSI, los canales presentados hasta este momento se estructuran del modo que se muestra en el esquema de la Figura 151.

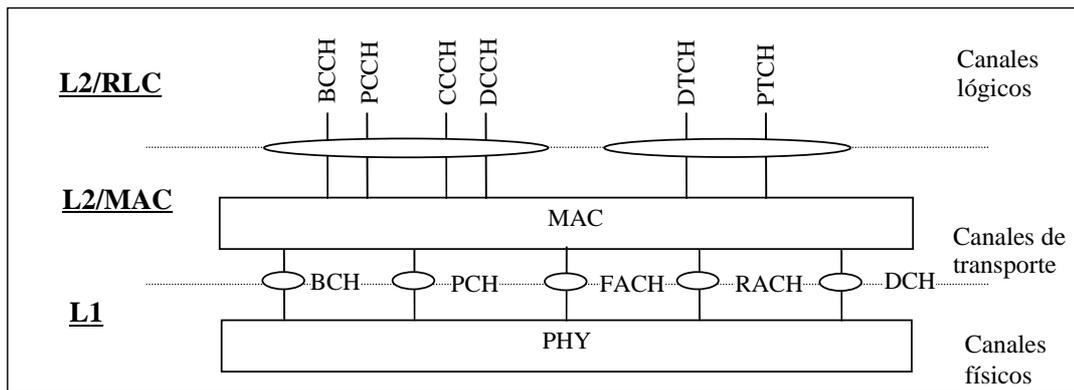


Figura 151. Estructura de capas y canales del interfaz UTRA

Puede observarse que existen tres partes diferenciadas:

- *La capa física:* En ella se sitúan los canales físicos y es la encargada de la transmisión de la información por el interfaz aire. Controla todos los parámetros físicos de la transmisión. Sus funciones más destacadas son el encargarse de los siguiente elementos del sistema:
 - Modulación y *spreading*.
 - Sincronización temporal y frecuencial (a nivel de chip, bit, slot y trama)
 - Realización de medidas e indicación de las mismas a los niveles superiores.
 - Control de Potencia.
 - Procesado de radiofrecuencia.
 - Macrodiversidad y *soft handovers*.
 - Detección de errores en los canales de transporte.
 - Codificación y entrelazado de los canales de transporte.
 - Multiplexado de canales de transporte.
 - Ajuste de tasas de transmisión.
 - Combinación de canales físicos.

- *La capa MAC:* Se encarga de gestionar la comunicación entre los canales de transporte y los canales físicos. Los canales de transporte reciben la información a transmitir de los canales lógicos. La capa MAC tiene que preparar esta información, junto con la señalización y los comandos de control necesarios, para que pueda ser correcta y fielmente transmitida por en nivel físico. Sus funciones más destacadas son encargarse de las siguientes tareas:
 - Mapeo entre canales lógicos y canales de transporte.
 - Selección de los formatos de transmisión para cada canal de transporte.

- Gestión de prioridad entre flujos de un terminal.
 - *Scheduling* entre terminales.
 - Identificación de terminales en los canales comunes de transporte.
 - Multiplexado y demultiplexado de bloques de datos entregados al nivel físico.
 - Monitorización de volumen de tráfico.
 - Cifrado.
 - Selección de la clase de servicio para acceso en el RACH.
- *La capa de control de enlace (RLC)*: Es la encargada de recibir la información de las capas superiores y enviarla hacia el MAC de la manera adecuada. Sus funciones principales son:
 - Establecimiento, mantenimiento y liberación de una conexión.
 - Concatenación de bloques de capas superiores.
 - Corrección de errores por retransmisión.
 - Preservación del orden en la entrega de bloques de datos a niveles superiores.
 - Control de flujo con la entidad RLC pareja (transmisión/recepción).

Como podemos observar, desde un punto de vista formal las tareas de gestión de los recursos de transmisión están incluidas en la subcapa MAC. Por tanto, las propuestas tanto de protocolos MAC como de algoritmos de gestión presentadas en esta tesis deberán aplicarse en dicha subcapa.

7.5.2 Estructura básica de transmisión

Las tramas de transmisión en UTRA duran 10 ms y están divididas en 15 slots, correspondientes a los períodos de control de potencia. Todos los canales físicos utilizan esta estructura básica, pero cada uno define su propia estructura de campos. Cada trama está numerada según un SFN (*System Frame Number*), que las relaciona con la supertrama del sistema, que contiene 72 tramas. La Figura 152 muestra la estructura de la trama en UTRA.

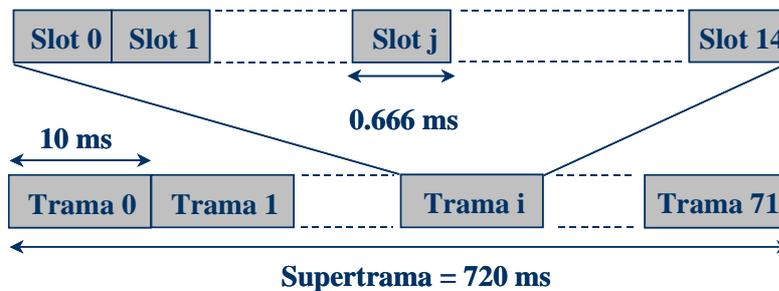


Figura 152. Estructura de trama en UTRA

7.5.2.1 Transmisión en canales dedicados

La transmisión en los canales dedicados se realiza haciendo uso de dos tipos de códigos: los de canalización y los de *scrambling*. La Figura 153 muestra el esquema básico para un usuario en el canal ascendente. Los códigos de canalización son del tipo OVSF y los de *scrambling* son códigos de Gold (ver 2.2.4.2).

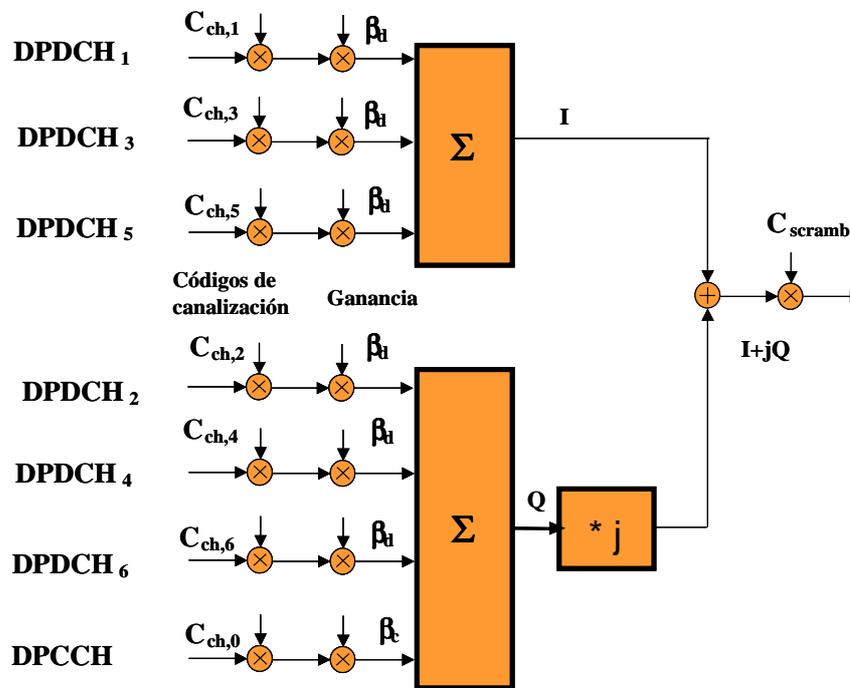


Figura 153. Estructura de transmisión de canales dedicados en UTRA.

7.5.2.2 Transmisión en canales comunes en modo paquete

Todas las propuestas realizadas en la presente tesis doctoral se basan en transmisiones en modo paquete. Por tanto, los canales de UTRA que utilizan este modo tienen especial relevancia para el análisis de la aplicabilidad de las propuestas en el estándar.

7.5.2.2.1 Canal PRACH

Basado en S-ALOHA con indicación de adquisición rápida, lo que constituye un protocolo muy similar a ISMA [28]. Se envían uno o más preámbulos de 4096 chips hasta que la base es capaz de detecta uno. A partir de aquí se envía la parte de mensaje. En la Figura 154 se muestra la estructura de transmisión del canal PRACH.

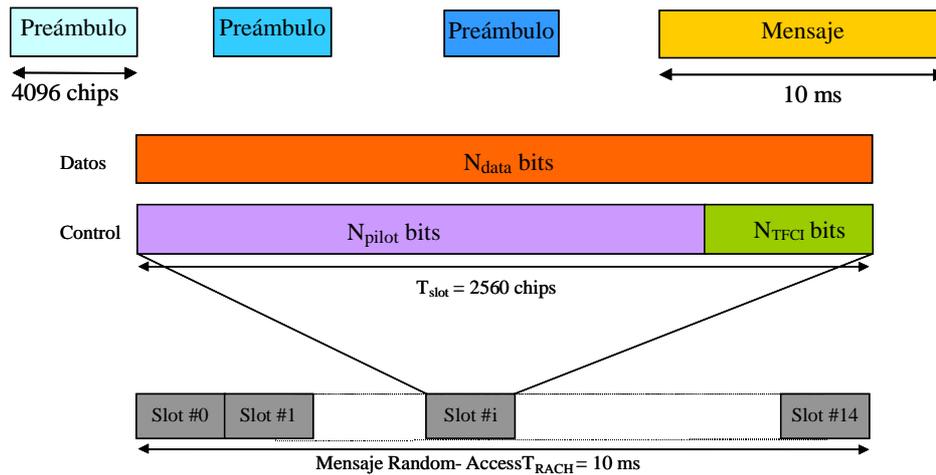


Figura 154. Estructura de la transmisión en el canal PRACH

Por otro lado, la transmisión tan sólo se puede iniciar en unos ciertos instantes de tiempo (*time offsets*) llamados *access slots* (AS), existiendo 15 *access slots* cada 2 tramas de 10 ms.

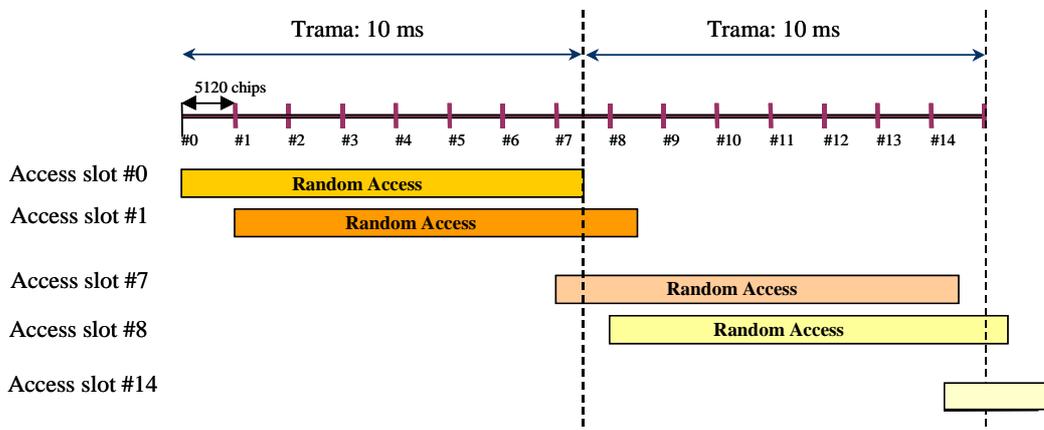


Figura 155. Estructura temporal del canal PRACH

Desde el punto de vista funcional, cada una de las partes tiene las siguientes características:

- **Preámbulo:** Se compone a su vez de dos partes.
 - **Signatura:** 256 repeticiones de una secuencia Hadamard de longitud 16.
 - **Código de scrambling:** se toman los primeros 4096 chips de un código de scrambling largo [60].
- **Mensaje:** Es codificado con dos tipos de códigos.
 - **Canalización:** la signatura escogida en el preámbulo marca una rama de los códigos OVVSF de longitud 16, que será la utilizada.
 - **Parte de control (SF=256):** se sigue el árbol y se toma la rama inferior con SF=256.
 - **Parte de datos (SF=256, 128, 64 ó 32):** se sigue el árbol por la rama superior y se escoge el que corresponda a SF.
 - **Scrambling:** 38400 chips ($2560 \text{ chips/slot} \times 15 \text{ slots/trama}$) del código de scrambling del preámbulo a partir del chip 4096 (mensaje de 10 ms).

7.5.2.2.2 Canal PCPCH

Transporta el canal común de transmisión en modo paquete. Las transmisiones se pueden iniciar en un número de *offsets* determinado, igual que en el PRACH.

Inicialmente se envían preámbulos de acceso hasta que la base es capaz de detectar uno de ellos, lo que notifica a través del AICH (*Acquisition Indication Channel*). Seguidamente se envía un preámbulo de resolución de colisiones. Tras la detección correcta de este preámbulo, se envía un preámbulo de control de potencia, con el mismo formato que en un DPCCH. Finalmente, se transmite el mensaje haciendo uso de ráfagas del tipo DPDCH y DPCCH. La duración de este mensaje es de un número entero de tramas de 10 ms. Además, existe un canal DPCCH asociado en el enlace descendente para efectuar un control de potencia en lazo cerrado durante la transmisión del mensaje.

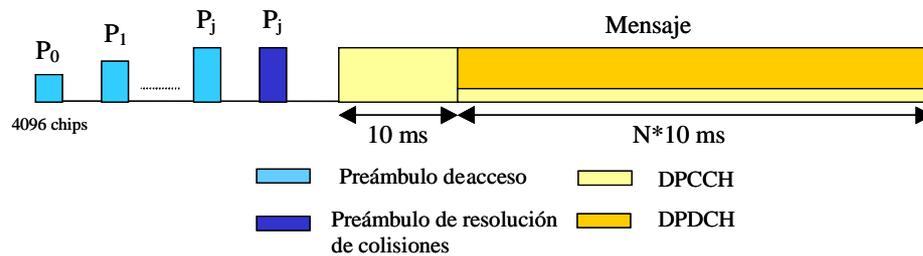


Figura 156. Estructura de transmisión del canal PCPCH

