

# ESQUEMAS DE ACCESO PARA SISTEMAS MÓVILES DE TERCERA GENERACIÓN: CDMA

*Pilar Díaz Romero*

*Profesora Titular del Grupo de Comunicaciones Radio  
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions  
Universitat Politècnica de Catalunya  
e-mail: pilar@xaloc.upc.es*

En el foro de dirigentes “el año 2002 hoy”, celebrado en Helsinki en 1991, Pekka Tarjanne, Secretario General de la UIT, describió lo que a su juicio serían las megatendencias de las comunicaciones del presente decenio, como si hablara retrospectivamente en 2002:

“En 2002 son muchas las cosas que consideramos normales. Un tejido de información y procesos de información casi inconsútil abarca el globo. Nadie piensa ya en la manera de vincular las redes de comunicaciones o de abrirse paso a través de un laberinto de protocolos distintos para llegar a alguien u obtener información o servicios de un computador distante. Todos los sistemas de información electrónica pueden interfundirse mediante técnicas transparentes y comunicaciones personales universales que todo lo unen: hablar con alguien dondequiera que esté, transmitir mensajes en una variedad de formas o de lenguas, o utilizar “objetos” de información abiertos en cualquier parte del mundo... Aunque autores y comentaristas dividan los acontecimientos del decenio en categorías muy distintas puede afirmarse que tal vez tres megatendencias principales han configurado la evolución del entorno de las comunicaciones actuales: avances tecnológicos espectaculares en la reproducción y distribución de la información, una nueva dinámica de la organización y la economía.”

*A comienzos de la próxima década,  
(...) los sistemas habrán sido  
explotados hasta el máximo de sus  
capacidades y no podrán satisfacer  
los requisitos de los usuarios en  
demanda y calidad.*

---

Así pues, la década de los 90 se considerará el decenio en el que el conocimiento se ha convertido en el motor de una nueva sociedad mundial. Uno de los factores que han propiciado esta evolución ha sido el desarrollo de las Comunicaciones Móviles Personales, que han

captado la atención de los medios, y con ello, la imaginación del público. Difícilmente pasa una semana sin encontrar un artículo relacionado con el tema en una revista o diario de larga tirada. Las encuestas y estudios de marketing realizados continúan proyectando una enorme demanda, augurando que al menos la mitad de los hogares o la mitad de las personas desean comunicaciones móviles personales.

En el campo de la radiotelefonía móvil celular, estamos asistiendo a la implantación de la segunda generación de radiosistemas móviles, con tecnología digital, en contraposición a los sistemas de primera generación que utilizaban modulaciones analógicas. Esos sistemas celulares de segunda generación incluyen el GSM y DCS 1800 (acceso TDMA) en Europa, el IS-54 (acceso TDMA) y el IS-95 (acceso CDMA) en América, mientras que los japoneses tienen un sistema TDMA de banda estrecha. En Europa también se han desarrollado dos sistemas de telecomunicación sin hilos, conocidos como CT2 y DECT. Algunos de estos sistemas son, no obstante, significativamente diferentes, de manera que está apareciendo la necesidad de una tercera generación de sistemas que sea compatible con los ya existentes y que sea capaz de satisfacer los nuevos requisitos en términos de diferentes servicios con diferentes grados de calidad, y también en términos de velocidades.

En este sentido, el programa UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) en Europa y un grupo de estudio de la UIT están contemplando los sistemas de comunicación personales para el año 2000. Pero ¿es esto suficiente, y hasta qué punto es posible predecir sobre el futuro, dados los avances tecnológicos que con certeza van a producirse? ¿Cuáles son, por otra parte, las características que se deberían anticipar en un futuro sistema de comunicaciones móviles? Las telecomunicaciones personales universales (UPT), que permitirán a los usuarios personalizar un terminal para comunicaciones con un número personal propio, y las denominadas redes inteligentes (IN), son objeto actualmente de estudio. Ofrecer una cobertura total junto con una alta capacidad requiere el uso de redes microcelulares con estaciones base y redes de distribución que no deben ser excesivamente caras.

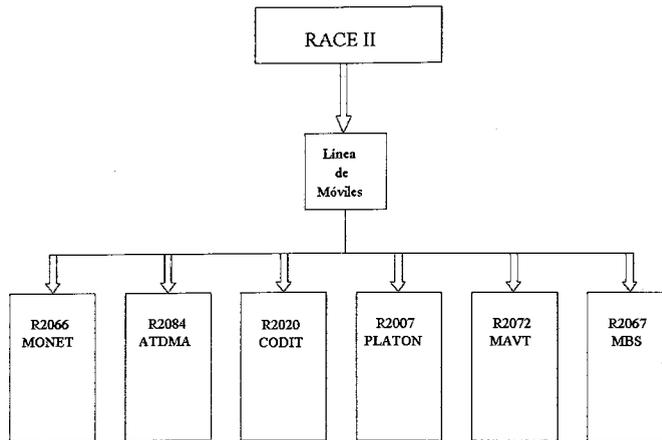


Figura 1. Programa de investigación europeo RACE II.

## LOS SISTEMAS DEL FUTURO

A comienzos de la próxima década, los sistemas de segunda generación habrán estimulado el mercado masivo de las comunicaciones móviles. Para entonces, los sistemas habrán sido explotados hasta el máximo de sus capacidades y no podrán satisfacer los requisitos de los usuarios en demanda y calidad. Las expectativas son de poder llegar a una penetración de hasta un 40% de la población activa para el año 2005, lo que representa una población de unos 100 millones de usuarios o más. Será el momento oportuno para un sistema de tercera generación, un sistema universal, multifunción, que usará técnicas digitales desarrolladas a lo largo de los noventa y tecnologías del año 2000.

*A pesar de la creciente demanda de los sistemas de comunicación personales, desde el punto de vista del usuario, el gran abanico de estándares que existe en la actualidad es mayor de lo que sería deseable*

Con la previsión de que más del 50% del teletráfico estará asociado a terminales móviles o sin hilos, la Comisión Económica Europea (CEE) lanzó una ambiciosa iniciativa de investigación a través del programa RACE (Research on Advanced Communications for Europe) en 1988. El propósito de este programa era el estudio de técnicas que permitiesen la creación de un sistema móvil de tercera generación para finales de siglo:

el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [1].

A pesar de la creciente demanda de los sistemas de comunicación personales, desde el punto de vista del usuario, el gran abanico de estándares que existe en la actualidad es mayor de lo que sería deseable. La necesidad de un único estándar para los sistemas móviles de tercera generación es una visión compartida por operadores y Administraciones, no únicamente en Europa, sino en todo el mundo.

Con la finalización de la primera fase del proyecto RACE, denominada RACE I y desarrollada entre 1988 y 1992, el ETSI dió un paso decisivo al crear el grupo SMG-5 con el fin de avanzar en una estandarización detallada del sistema UMTS. Simultáneamente al comienzo de los trabajos de normalización del UMTS en el ETSI, la Comisión Europea lanzó una nueva fase del programa RACE, llamada RACE II, que terminó entre finales de 1994 y comienzos de 1995. Los diferentes proyectos que fueron creados tenían por objetivo progresar en el conocimiento de ciertos esquemas a través de conceptos validados por experimentos, y contribuir eficazmente a la normalización. Las acciones llevadas a cabo en el campo de la tecnología de las comunicaciones incluyen entre otras:

- Comunicaciones móviles y personales
- Redes inteligentes
- Servicios de datos e imágenes
- Ingeniería de servicios integrados
- Experimentos en comunicaciones avanzadas
- Tecnologías de seguridad de la información

Con el fin de lograr una máxima eficiencia, la segunda fase del programa RACE estaba estructurada en términos de líneas de proyectos. La línea de proyectos móvil estaba compuesta de seis proyectos, cinco de ellos íntimamente relacionados con el desarrollo del UMTS

(PLATON, MONET, ATDMA, CODIT, MAVT) y uno (MBS) dirigido específicamente a la definición del concepto de sistema móvil de banda ancha operando en la banda de frecuencias de 60 GHz.

*El debate del acceso múltiple es, por tanto, uno de los principales problemas que deberán resolverse.*

Los proyectos ATDMA y CODIT experimentaron las posibilidades de los métodos de acceso TDMA y CDMA (técnica de acceso múltiple en la que los usuarios del sistema transmiten en la misma banda y de forma simultánea gracias al uso de un código de identificación de usuario apropiado) respectivamente, con el fin de compararlos a posteriori sobre una base común. El proyecto MONET estudió los conceptos concernientes a la red del sistema UMTS y consideró de manera idéntica los diferentes métodos de acceso. El proyecto PLATON estudió y desarrolló las herramientas lógicas necesarias en la ingeniería de redes. El proyecto MAVT estudió los algoritmos de codificación de voz e imagen en un entorno móvil. Por último, el proyecto MBS se interesó en la utilización más futurista de la banda de 60 GHz para la transmisión en banda ancha.

## EL SISTEMA UMTS

El sistema UMTS está siendo concebido para proveer, de manera universal, una amplia variedad de servicios al usuario mediante una familia de terminales. La universalidad de un servicio particular dependerá tanto de condicionantes técnicos como económicos.

Desde el punto de vista de los servicios, el UMTS soportará una mayor variedad de servicios con mejor calidad y mayores velocidades de transmisión que los actualmente ofrecidos por sistemas como el GSM/DCS 1800 y el DECT. El UMTS soportará voz, datos, fotografía, gráficos, multimedia y otras clases de servicios. Adicionalmente, se considera como esencial para el UMTS ofrecer mejor calidad en términos de cobertura y probabilidad de bloqueo. En el caso de servicio de voz, la percepción global de calidad y fiabilidad de la llamada deberá ser comparable a la ofrecida por la red fija actual.

Desde el punto de vista de disponibilidad, el UMTS deberá ofrecer cobertura universal. Esto significa la necesidad de ofrecer la capacidad de conectividad en una gran extensión geográfica: al menos Europa, aunque potencialmente el mundo entero. La universalidad también significa la disponibilidad de los servicios de UMTS en la multiplicidad de entornos en los que el sistema deberá trabajar: rural, urbano, interiores de negocios y residencial. Incluye a peatones y vehículos tanto públicos como privados.

En lo que concierne al interfaz radio, una de las características clave del sistema será el método de acceso adoptado, para poder satisfacer así los requisitos de calidad en cualquier tipo de entorno. El debate del acceso múltiple es, por tanto, uno de los principales problemas que deberán resolverse. Los sistemas actuales tales como el GSM y el DECT están basados en una técnica de acceso TDMA. La experiencia acumulada por fabricantes la hace candidata para los sistemas de tercera generación, siempre que la evolución de los conocimientos y de la tecnología actual permitan una mejora de prestaciones [2].

En Norte América, una política gubernamental que permite a las compañías que operan en el campo celular una gran flexibilidad a la hora de adoptar tecnologías de transmisión ha estimulado una gran actividad

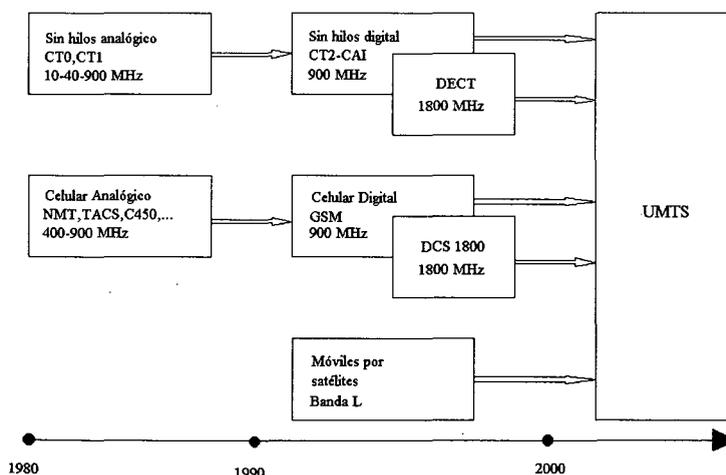


Figura 2. Evolución de los sistemas móviles actuales hacia el UMTS.

al margen de los procesos de estandarización oficiales. En este sentido, el esfuerzo más claro lo está realizando la compañía Qualcomm que, en cooperación con otras compañías operadoras y vendedoras de equipos, está desarrollando un sistema dual con transmisión digital basado en spread spectrum CDMA. Demostraciones de los primeros equipos de CDMA y estimaciones de capacidad optimistas por parte de Qualcomm han llevado a muchas compañías a aplazar decisiones en el desarrollo de sistemas duales hasta el desarrollo de futuras pruebas.

No obstante, cualquier técnica de acceso presenta puntos débiles y puntos fuertes, de manera que la solución para un sistema de tercera generación podría bien basarse en una combinación de esas técnicas, es decir, en un método de acceso híbrido.

### ACCESO CDMA

Los sistemas de espectro ensanchado, «spread spectrum», dentro de los cuales se incluyen los sistemas de acceso múltiple CDMA, comenzaron a desarrollarse a mediados de la década de los 50. Las primeras aplicaciones se produjeron en el campo militar por la robustez que presentaba frente a las interferencias, ya fueran provocadas, o ya fueran debidas a la propagación multicamino. Una posible definición de este tipo de técnicas, que refleja fielmente sus características, la podemos encontrar en [3]:

«Spread spectrum es un modo de transmisión en el que la señal ocupa un ancho de banda mayor que el estrictamente necesario para enviar la información; el ensanchamiento en frecuencia se lleva a cabo mediante el uso de una secuencia código, independiente de la secuencia de información, y para la compresión en frecuencia de la señal recibida y posterior recuperación de la información, se lleva a cabo una recepción sincronizada con la secuencia código en el receptor.»

Una de las muchas ventajas de las técnicas de espectro ensanchado reside en su aplicación a sistemas de acceso múltiple. El acceso en este tipo de sistemas multiusuario se conoce como Code Division Multiple Access (CDMA). El CDMA es una técnica de ensanchamiento del espectro frecuencial, en donde todos los terminales móviles utilizan un mismo canal radioeléctrico bidireccional de banda ancha. Antes de ser transmitida, la señal de información es multiplicada por una secuencia pseudoaleatoria con el objeto de ensanchar el espectro de la señal a transmitir. Esa secuencia pseudoaleatoria, llamada también código, es específica de cada enlace entre un móvil y la estación base.

El CDMA es una forma de acceso múltiple más distribuida en relación al esquema TDMA. Una de sus características básicas es la inmunidad y diversidad inherentes que presenta frente a las interferencias, lo que la hace especialmente atractiva en los entornos limitados

por interferencias, como así ocurre en los sistemas celulares. Además, en este tipo de sistemas, el plan de reuso de frecuencias se simplifica y resulta más flexible en comparación con las otras técnicas de acceso. En teoría, el mismo conjunto de frecuencias puede ser reutilizado en cada célula, lo que permite un aumento de la eficiencia espectral. Otra de las ventajas que ofrece un sistema con acceso CDMA es la posibilidad de convivir con otros sistemas de banda estrecha ya existentes sin afectarlos sensiblemente, gracias a la expansión de energía que se produce a lo largo del gran ancho de banda disponible.

*Al añadir nuevos usuarios al sistema, las prestaciones se degradan de manera suave, lo que no es posible en un sistema TDMA*

---

Con el fin de demostrar su viabilidad en los sistemas celulares, entre Noviembre de 1991 y Septiembre de 1992 se llevaron a cabo cuatro pruebas de un sistema con acceso CDMA (esquema propuesto por Qualcomm), en las ciudades de San Diego (California), Münster (Alemania), Ginebra (Suiza) y Washington (DC). La estimación de capacidad que se obtuvo en estas pruebas experimentales, con una cobertura entre el 90% y 95%, fue de aproximadamente diez veces la que soporta el actual sistema móvil analógico que opera en los EEUU (AMPS). En la actualidad se está explorando detalladamente la opción del acceso CDMA para su aplicación en los futuros sistemas móviles de tercera generación. Las ventajas indicadas por esta compañía y otros defensores del CDMA se pueden resumir en [4-5]:

1. El sistema no precisa de igualadores de canal al aprovechar de forma constructiva la interferencia intersimbólica producida por la propagación multicamino.
2. Se requiere un único equipo de radio por estación base o emplazamiento puesto que todos los usuarios comparten el mismo canal radioeléctrico.
3. No precisa asignación ni coordinación de frecuencias al compartir todos los usuarios el mismo radiocanal, lo que simplifica la gestión del mismo.
4. Permite un proceso de handover «suave», ya que cada célula utiliza idéntica banda de frecuencias.
5. Al añadir nuevos usuarios al sistema, las prestaciones se degradan de manera suave, lo que no es posible en un sistema TDMA en donde un nuevo usuario debería necesariamente interferir a alguno de los usua-

rios antiguos produciendo un cambio brusco en la calidad del servicio.

6. Permite la coexistencia de sistemas analógicos en su misma banda, ya que la señal CDMA es vista por los sistemas analógicos como ruido, mientras que el sistema CDMA percibe la señal analógica como una interferencia de banda estrecha.

7. Permite el aprovechamiento del factor de actividad vocal de forma natural, lo que permite incrementar la capacidad del sistema.

### DIRECT-SEQUENCE CDMA

Cuando se analiza detenidamente el problema del acceso múltiple, se observa que el propósito último consiste en conseguir la separabilidad entre las señales provenientes de usuarios que intentan transmitir simultáneamente a través del sistema. Desde un punto de vista más formal, el concepto de separabilidad entre señales se puede formular a través de la operación producto escalar. Siempre que el producto escalar entre dos señales,  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$ , provenientes de dos usuarios diferentes sea nulo

$$\int_T s_1(t)s_2(t)dt = 0$$

se dice que esas dos señales son ortogonales entre sí. La separabilidad entre señales está asociada al concepto de ortogonalidad, de manera que dos señales ortogonales entre sí son separables en el receptor, y por consiguiente, susceptibles de ser enviadas por el mismo canal de transmisión.

Por lo que respecta a los sistemas de spread spectrum, existen básicamente dos maneras de ensanchar el espectro en transmisión: modulación por secuencia directa, conocida como «direct sequence», y modulación por saltos en frecuencia, conocida como «frequency hopping». Por motivos de capacidad, la tecnología actual hace aconsejable el empleo de la técnica de direct sequence en los sistemas de acceso múltiple. Cuando se emplea un

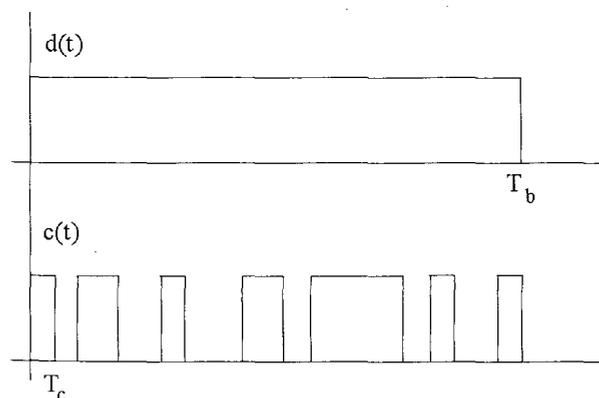


Figura 3. Señal de datos y secuencia código.

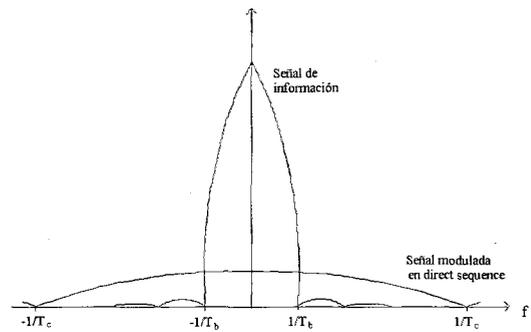


Figura 4. Espectro de potencia de la señal de información y de la señal modulada en direct sequence.

esquema DS/CDMA (Direct-Sequence CDMA), la ortogonalidad entre las señales de los diferentes usuarios se consigue modulando la señal de información con una secuencia código. A diferencia de los esquemas de acceso FDMA y TDMA, todos los usuarios del sistema comparten toda la banda de frecuencias y transmiten simultáneamente en tiempo. La separabilidad en recepción, se logra asignando a cada uno de ellos una secuencia código distinta,  $c(t)$ , ortogonal al resto de secuencias.

En un sistema CDMA se suele adoptar señales DS-PSK, por lo que respecta a los esquemas de modulación empleados. En un esquema DS/PSK, la secuencia  $c(t)$  modula la señal de información  $d(t)$  de manera que la señal transmitida,  $s(t)$ , puede expresarse como

$$s(t) = \sqrt{2S}c(t)d(t) \cos(\omega_0 t) = \sqrt{2S}d'(t) \cos(\omega_0 t)$$

donde  $S$  es la potencia transmitida.

De la ecuación anterior se deduce que al modular la señal de información con la secuencia  $c(t)$  se produce un ensanchamiento del espectro de potencia en un factor  $G_p$ ,

$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

donde  $T_c$  es el período de «chip» de la secuencia código y  $T_b$  es el período de bit de la señal de datos. El factor  $G_p$  se conoce como ganancia de procesamiento.

En el receptor, la compresión en frecuencia de la señal recibida permite recuperar la señal de información:

$$s(t)c(t) = \sqrt{2S}d(t) \cos(\omega_0 t)$$

El diagrama de bloques de la Figura 5 ilustra los elementos básicos de un sistema de comunicaciones digital de espectro ensanchado. Los generadores de se-

cuencias generan una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN), que modula la señal de información en el transmisor, y la demodula en recepción. Para un correcto funcionamiento del sistema, es necesaria una correcta sincronización entre la secuencia recibida y la generada localmente en el receptor.

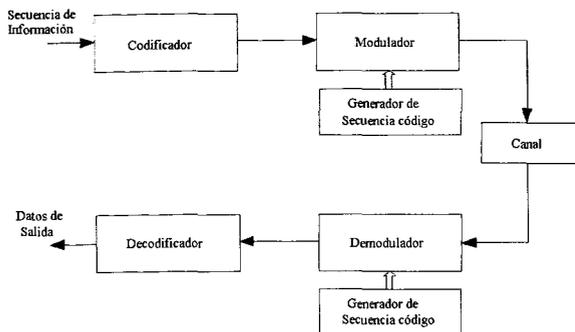


Figura 5. Diagrama de bloques de un sistema DS/CDMA.

Desde un punto de vista de diseño, cabe insistir en dos aspectos básicos para un correcto funcionamiento de un sistema CDMA: por una parte, en la elección de secuencias códigos apropiadas, y por otra, en la necesidad de habilitar procedimientos de sincronismo.

Por lo que respecta a los códigos de acceso, la búsqueda de secuencias estrictamente ortogonales conduciría a un número insuficiente de secuencias como para poder albergar un sistema de gran capacidad. El interés en los diversos estudios sobre secuencias pseudoaleatorias que se han realizado se ha centrado primordialmente en la búsqueda de conjuntos formados por un gran número de secuencias que presenten un buen comportamiento desde un punto de vista de ortogonalidad, aunque no sean estrictamente ortogonales.

Junto a estos aspectos básicos de un esquema CDMA, existen otros específicos del entorno móvil donde esta técnica de acceso es utilizada. Un problema característico que aparece cuando el CDMA se aplica en el entorno de las comunicaciones móviles consiste en la necesidad imperiosa de adoptar un control de potencia para combatir el fenómeno conocido como «near-far», típico de un escenario móvil. Este fenómeno consiste básicamente en el enmascaramiento de la señal de un usuario lejano recibida en la estación base, por parte de las señales de usuarios situados en las proximidades de la base. Para paliar los efectos de este problema, se debe habilitar una técnica de control de la potencia emitida por el móvil con el objeto de recibir en la estación base aproximadamente la misma potencia de señal por lo que respecta a cada una de las unidades móviles asignadas a esa base, con independencia de su emplazamiento.

Si las secuencias PN utilizadas fueran perfectamente ortogonales, el nivel de potencia recibido corres-

pondiente a un usuario interferente en relación al nivel de potencia correspondiente al usuario útil sería irrelevante. Sucede no obstante que ello no es así, y en consecuencia, un nivel de potencia excesivo por parte de un usuario interferente no puede ser compensado por la naturaleza «quasi-ortogonal» de las secuencias PN seleccionadas. Si las potencias de la señal útil e interferente, moduladas con secuencias PN aleatorias, coinciden a la entrada del receptor DS-PSK, entonces el factor de rechazo de la señal interferente es igual a  $10 \log G_p$  dB a la salida del receptor. Sin embargo, cuando las potencias no coinciden, el receptor DS-PSK será únicamente capaz de mejorar en  $10 \log G_p$  dB la relación señal a potencia interferente a la entrada. Ello es totalmente insuficiente por sí sólo para combatir las potencias interferentes elevadas que inevitablemente aparecen en un entorno móvil, donde el receptor debe manejar márgenes dinámicos del orden de 80 dB. Por el contrario, valores de  $G_p$  superiores a 30 dB son poco usuales, debido a razones prácticas de implementación.

El objetivo de un control de potencia, por tanto, consiste en que cada emisor ubicado en una unidad móvil transmita la potencia justa para que la potencia recibida por un receptor en la estación base sea idéntica para todos los móviles. El interrogante que queda es si ese control de potencia debe ser realmente muy estricto o, por el contrario, es suficiente con que no se permita la aparición de potencias interferentes excesivamente mayores a la de la señal útil.

Ese y otros interrogantes acerca de la idoneidad de un acceso CDMA para sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación pueden quedar resueltos en función de las prestaciones que ofrezca y de como evolucione el estándar IS-95 para sistemas de segunda generación.

## REFERENCIAS

- [1] S. CHIA, "The Universal Mobile Telecommunication System", IEEE Communications Magazine, Vol. 30, No. 12, Diciembre 1992.
- [2] "Communications avec les Mobiles", Commutation & transmission, Numéro Spécial 1993.
- [3] R.L. PICKHOLTZ, D.L. SCHILLING, L.B. MILSTEIN, "Theory of Spread-Spectrum Communications- A Tutorial", IEEE Trans. on Communications, Vol COM-30, No. 5, Mayo 1982.
- [4] W.C.Y. LEE, "Overview of Cellular CDMA, IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No. 2, Mayo 1991.
- [5] A. SALMASI, K.S. GILHOUSEN, "On the System Design Aspects of Code Division Multiple Access (CDMA) Applied to Digital Cellular and Personal Communications Networks", IEEE 41th VTC, St. Louis, Mayo 1991.