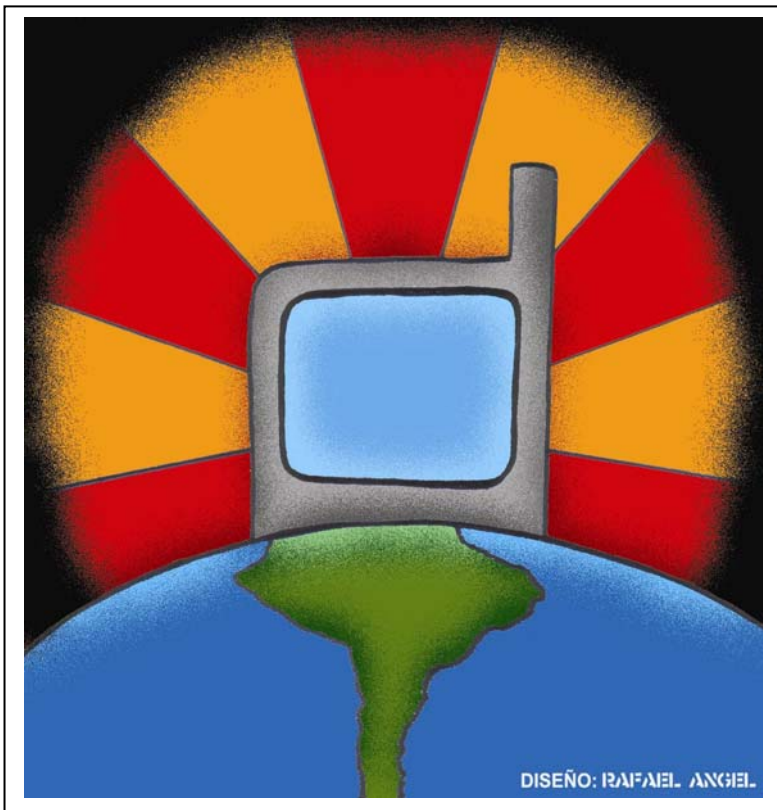


# INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES MODERNOS



## RESUMEN

Este artículo presenta una breve historia, aspectos técnicos básicos y aplicaciones de los sistemas de comunicaciones móviles. También hace una pequeña revisión a los nuevos sistemas de comunicaciones móviles disponibles en Colombia.

## PALABRAS CLAVES

Comunicaciones móviles, celular, espectro radioeléctrico, celdas.

## ABSTRACT

*This paper presents a short history, basic technical aspects and applications of mobile communications systems. Also, there is a brief revision of the new mobile communication systems in Colombia.*

## KEYWORDS

*Mobile communications, cellular, electromagnetic spectrum, cells.*

- **Fabio Guerrero, M.Sc**  
Profesor Asistente.  
Universidad del Valle.
- **Javier Parra Moreno**  
Estudiante  
Ingeniería Electrónica  
Universidad del Valle

- **Gustavo Adolfo Vejarano**  
Estudiante  
Ingeniería Electrónica  
Universidad del Valle

**Área de Telecomunicaciones EIEE**  
**Universidad del Valle**  
**Colombia**  
[telecomunicaciones@univalle.edu.co](mailto:telecomunicaciones@univalle.edu.co)

## 1. INTRODUCCIÓN

La introducción de nuevas tecnologías de comunicaciones móviles en Colombia ha

aumentado el interés por conocer los detalles de los nuevos sistemas de comunicaciones móviles, las facilidades que ofrecen y los aspectos que los diferencian de los sistemas de la generación anterior. En el año 2002 el número de suscriptores móviles superó el número de suscriptores fijos a nivel mundial [1], tendencia que también vivimos en Colombia en donde el número de usuarios móviles ha estado siempre en crecimiento desde 1994, año en que estas tecnologías estuvieron por primera vez comercialmente disponibles.

El objetivo de este artículo es presentar de forma sencilla las principales características de los sistemas de 2.5G y 3G, su funcionamiento, las facilidades que ofrecen, y principales aplicaciones disponibles. También se revisa el estado de estas tecnologías en Colombia.

## 2. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES

Los sistemas celulares han evolucionado en el tiempo por generaciones, cada generación se caracteriza principalmente por la forma como el dispositivo móvil accede a la red (esto es, técnica de acceso al medio compartido) y por las aplicaciones que ofrece a los usuarios (por ejemplo, servicios de voz, mensajería corta, Internet). En la actualidad los operadores están migrando sus redes a tecnologías de tercera generación (3G), y grupos de investigación alrededor del mundo trabajan en el desarrollo de la cuarta generación (4G).

### 2.1. Primera Generación (1979-1991)

Los sistemas de comunicaciones móviles de primera generación (1G) eran sistemas esencialmente análogos. En Colombia nunca hubo redes celulares de esta generación.

### 2.2. Segunda Generación (1991-2001)

Los sistemas de segunda generación comenzaron a implementarse alrededor de 1991 cuando estuvo disponible comercialmente la primera red GSM en Finlandia, esta generación además del servicio de voz provee servicios de datos de baja velocidad (19,2 kbit/s). Se utiliza TDMA y CDMA como técnicas de acceso al medio, y todos los canales son digitales. Estas características permitieron mejorar la utilización del espectro electromagnético con respecto a sus predecesores. Entre los

sistemas 2G de mayor aceptación están GSM, IS-136, PDC, IS-95-B (CDMA de banda angosta); con los que se logró mayor penetración de la telefonía móvil mundialmente. En Colombia las primeras redes celulares se instalaron hacia 1994 usando IS-136 [2].

### 2.3. Tercera Generación (2001-Presente)

IMT-2000 [3] es la definición de 3G coordinada globalmente por ITU (International Telecommunications Union). Aunque se ha buscado un camino migratorio armonizado no existe un único estándar de 3G. La recomendación ITU-R M.1457 [4] especifica las cinco interfaces de radio definidas por IMT-2000 para los sistemas de tercera generación. La Figura 1 muestra los caminos de migración de los principales estándares de 2G usados alrededor del mundo (la quinta interfaz, ausente en la Figura 1, no es relevante para el propósito del presente artículo).

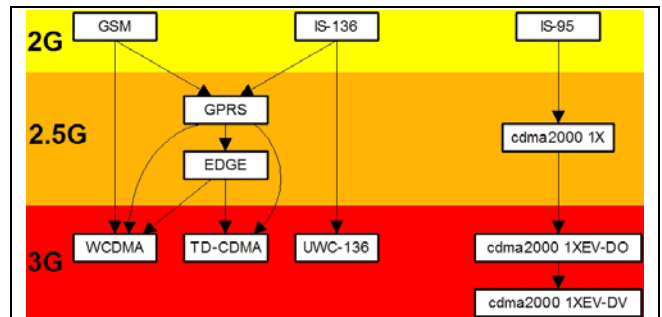


Figura 1. Caminos migratorios hacia tercera generación.

Algunos de los caminos migratorios sugieren una adopción gradual de la nueva tecnología. De este modo aparecen los sistemas 2.5G los cuales presentan mejores características que los sistemas 2G pero no cumplen estrictamente con los requerimientos de los sistemas 3G definidos por la ITU. La recomendación ITU-R M.1225 [5] especifica que los sistemas de tercera generación deben proveer conmutación de circuitos y conmutación de paquetes a tasas de 2 Mbit/s o mayores para tráfico en interiores, 384 kbit/s para tráfico pedestre y 144 kbit/s o más para tráfico de alta movilidad (vehicular).

### 2.4. Cuarta Generación (Futuro)

La cuarta generación de sistemas de comunicaciones móviles está en fase de investigación y desarrollo. Estos sistemas buscan la convergencia de varias de las tecnologías

inalámbricas existentes (por ejemplo, Bluetooth, WLAN, HiperLAN) con las tecnologías celulares 3G, también buscan un manejo más eficiente del espectro a través de tecnologías de radio como OFDM. Esta generación promete velocidades alrededor de 100 Mbit/s, manejo de calidad de servicio, uso transparente de las tecnologías inalámbricas para el usuario. A nivel de aplicación el concepto de telefonía móvil tiende a desaparecer pues permitirá el desarrollo de aplicaciones que integran voz, imagen y datos simultáneamente. En cuanto a la estandarización e implantación de estas tecnologías, según [6], la ITU estima que en el año 2007 publicará las primeras recomendaciones para que alrededor del año 2010 estén disponibles los primeros sistemas 4G.

### 3. ASPECTOS TÉCNICOS

A continuación se revisan algunos aspectos técnicos básicos de los sistemas de comunicaciones móviles de 2.5G y 3G. Y también se revisan las nuevas tecnologías instaladas en Colombia.

#### 3.1. Estructura básica de los sistemas de comunicaciones móviles

Los sistemas de comunicaciones móviles actuales presentan la arquitectura básica de la Figura 2.

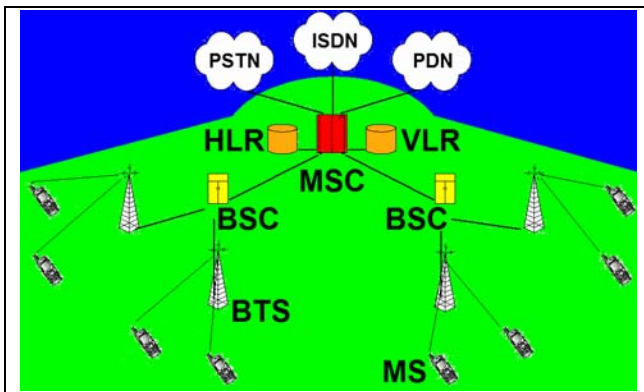


Figura 2. Estructura básica de los sistemas de comunicaciones móviles.

Los subsistemas que integran esta red se comunican permanentemente con el fin de saber la ubicación del usuario y su estado actual. Esta comunicación permanente garantiza la disponibilidad del sistema al usuario, y el acceso a sus servicios.

El Subsistema de Estación Base está conformado por estaciones base (BTS) y controladores de estaciones base (BSC). La estación base se compone de los equipos de transmisión y recepción, incluyendo antenas y dispositivos dedicados al procesamiento de la señal. Su función es transmitir y recibir señales de los usuarios realizando tareas de la capa física. El controlador de estación base se encarga de la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre el conjunto de BTSs asignadas y las estaciones móviles (MS) atendidas por las BTSs. El BSC también gestiona la localización de los canales de tráfico y handovers (manejo de usuario al atravesar la frontera física de una celda).

El Centro de Conmutación Móvil (MSC) es el núcleo de control del sistema, entre sus tareas están: interconectar el sistema de comunicaciones móviles con otras redes de telecomunicaciones (por ejemplo, PSTN, PDN, ISDN), y gestionar conexiones entre usuarios de la red celular y usuarios en redes externas como las de telefonía fija. Otra tarea importante es el manejo de las bases de datos HLR, VLR y autenticación de usuarios. En la primera base de datos se almacena información referente a usuarios que pertenecen a la red, y la segunda almacena información de usuarios que visitan la red. Por ejemplo, cuando un usuario de la red A es atendido por la red B, ya que posiblemente está localizado en un punto no cubierto por la red A, éste debe ser registrado en el VLR de B. En este caso se dice que este usuario está haciendo roaming en la red B.

La estación móvil MS es el elemento que el usuario emplea para acceder a la red, tarea que realiza conectándose a la BTS más cercana normalmente. Este elemento es bastante familiar y no es necesario profundizar al respecto pero se debe tener presente que el teléfono celular no es el único tipo de estación móvil; existen dispositivos que se pueden instalar en automóviles, en sistemas electrónicos remotos como cajeros automáticos y máquinas dispensadoras, PDAs, PCs, entre otros.

#### 3.2. Requerimientos del espectro radioeléctrico

A nivel mundial el uso del espectro radioeléctrico para las tecnologías 3G se basa en las recomendaciones de ITU para este fin, ver Figura 3. Ya que cada país es autónomo en la administración de su espectro la asignación de este varía dependiendo del país, pero en la mayoría de los

casos la hace siguiendo las recomendaciones de la ITU.

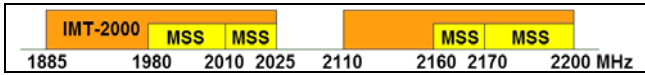


Figura 3. Asignación del espectro radioeléctrico para sistemas 3G dada por la ITU.

En Colombia el Ministerio de Comunicaciones ha subastado para uso de telefonía móvil la banda de 800 MHz y la banda PCS (1900 MHz). La primera es compartida entre dos operadores y la segunda es exclusiva de un operador, a la fecha estos operadores son Telefónica Móviles (antiguo Bellsouth), Comcel y Colombia Móvil, respectivamente.

La Figura 4 muestra las bandas designadas a los operadores de redes de telefonía móvil celular y PCS en Colombia.

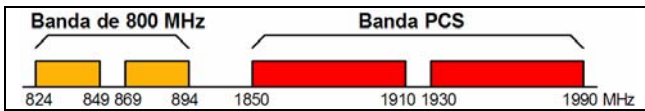


Figura 4. Bandas en Colombia para telefonía móvil celular y PCS.

### 3.3. El concepto celular

El concepto celular [7] permite que un sistema de comunicaciones móviles pueda cubrir un área determinada con una densidad de usuarios variable, normalmente creciente, sin requerir más espectro radioeléctrico que el inicialmente asignado. Este concepto es esencial en el éxito de estas tecnologías ya que sin este el espectro necesario para cubrir áreas con densidades de usuarios en aumento sería cada vez mayor, condición imposible de cumplir en la práctica porque los sistemas de comunicaciones móviles tienen un ancho de banda fijo asignado para su operación y deben convivir con otras tecnologías inalámbricas.

El concepto celular se puede resumir en dos aspectos claves: reuso de frecuencias y división de celdas. La Figura 5 ilustra el concepto celular.

El terreno donde se quiere dar cubrimiento se divide en pequeñas áreas de cobertura, (A1, B1, A2, B2,...) denominadas celdas. A cada celda se le asigna un conjunto de canales que son ortogonales al resto de canales en celdas adyacentes. Esta ortogonalidad entre canales garantiza que celdas

adyacentes no causen interferencia entre sí. La manera como se obtiene esta ortogonalidad puede ser: división de frecuencia, división de tiempo, o códigos de dispersión ortogonales (principio spread spectrum).

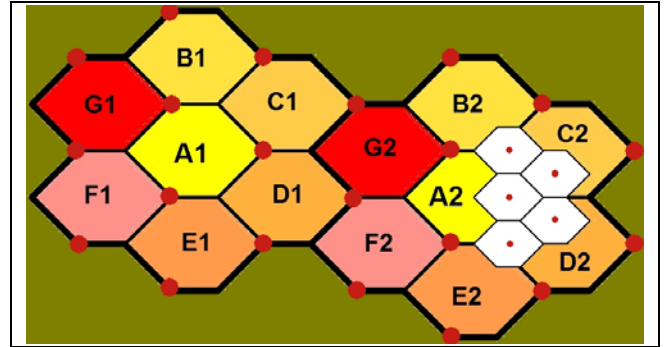


Figura 5. Celdas en un sistema de comunicaciones móviles.

El número total de canales en una celda es proporcional al espectro radioeléctrico asignado al sistema y por tanto es finito. Entonces en algún punto del proceso de asignación de canales a celdas estos se acaban, y si el terreno no ha sido totalmente cubierto se deben crear nuevas celdas que usan canales que han sido usados en celdas lejanas. Ésta técnica, llamada reuso de frecuencias o reuso de códigos, se ilustra en la Figura 5 con las celdas A1 y A2 las cuales usan el mismo conjunto de canales al igual que B1 y B2, C1 y C2, y así sucesivamente. La separación geográfica entre estas celdas debe garantizar que las señales de interferencia que percibe una de las celdas proveniente de la otra hayan sido suficientemente atenuadas de modo que la interferencia co-canal sea mínima. El término reuso de frecuencias es válido cuando la ortogonalidad de los canales se obtiene a través de la división en frecuencia, y el término reuso de código es válido cuando la ortogonalidad de los canales se obtiene a través de códigos ortogonales.

La división en celdas más pequeñas permite que el sistema aumente su capacidad cuando la densidad de usuarios aumenta tanto que no puede ser satisfecha con las celdas originalmente planeadas. En la Figura 5 este proceso se muestra con las celdas pequeñas. Suponiendo que en la región de las celdas A2, C2 y D2 aumenta la densidad de usuarios y estas celdas no pueden atender esta demanda porque los canales asignados a las mismas están siendo usados por otros usuarios, la división de celdas creando las celdas pequeñas,

permite atender un mayor número de usuarios ya que al cubrir una menor área ahora se deben atender menos usuarios. Es importante observar como el concepto celular nunca recurre a un incremento del espectro radioeléctrico asignado al sistema.

Finalmente, en la Figura 5, los puntos en las esquinas y en el centro de las celdas muestran la ubicación posible de las estaciones base en un sistema celular. En la práctica, la ubicación de las estaciones base en las esquinas de las celdas es la más usada con una antena de transmisión y dos de recepción (diversidad de espacio).

### 3.4. Introducción a los sistemas GSM/GPRS y cdma2000 1X

En Colombia los operadores celulares y PCS usan GSM/GPRS y cdma2000 1X en sus redes de 2.5G. Ambos sistemas comparten la estructura básica expuesta antes, pero también presentan diferencias fundamentales entre sí.

GSM es el sistema con mayor número de usuarios a nivel mundial. Fue estandarizado en 1982 como el sistema de telefonía móvil para Europa y actualmente es especificado y regulado por ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Para realizar la transmisión y la recepción de las señales en la interfaz de aire entre MS y BSC, GSM utiliza TDMA junto con FDMA, lo que le permite transportar la información en tiempos específicos en frecuencias específicas. Las conversaciones y transferencias de información que ocurren en forma simultánea y en la misma frecuencia hacen uso de diferentes intervalos de tiempo o time slots. La transmisión y recepción se hace en frecuencias diferentes. El espacio entre portadoras es de 200 KHz. La trama TDMA maneja ocho time slots para el transporte de voz y datos. En el ancho de banda de 25 MHz asignado permite proveer 125 portadoras con un ancho de banda de 200 KHz cada una. La primera portadora no se usa y por lo tanto se dispone de 124 canales [8], [9]. ETSI, a través de la fase 2+ ha incorporado el servicio de transmisión de paquetes conmutados GPRS. Este servicio transforma a GSM básico 2G en una tecnología de 2.5G permitiéndole manejar velocidades superiores a 115 kbit/s.

Los sistemas cdma2000 1X están definidos por la familia de estándares cdma2000 [10], desarrollada en el proyecto 3GPP2 el cual reúne organizaciones desarrolladoras de estándares de Estados Unidos, Japón, China y Corea. La técnica de acceso al medio usada por estos sistemas es CDMA (Code Division Multiple Access), en la que el ensanchamiento del espectro se realiza por secuencia directa [11]. En resumen, esta técnica consiste en la multiplicación de la señal digital del usuario por una secuencia pseudoaleatoria única para cada usuario. Las secuencias asignadas a los usuarios son ortogonales entre sí por lo que las señales que transmiten causan mínima interferencia entre sí. En los sistemas cdma2000 1X se emplea reuso de frecuencias y códigos. Algunas otras características importantes de los sistemas cdma2000 1X son: método duplex por división en frecuencia, ancho de banda de cada canal 1.25 MHz, tipo de modulación BPSK y QPSK, velocidad de transmisión 153,6 kbit/s.

### 3.5. Handoff

El proceso de handoff ocurre cuando un usuario pasa de una celda a otra con una conexión establecida. El objetivo de este proceso es mantener la conexión del usuario con la mejor calidad posible durante este cambio y evitar en lo posible la pérdida (aunque sea transitoria) de la conexión durante el cambio. La forma exacta como se realiza un handoff varía entre los distintos sistemas, pero en general un handoff consiste en la liberación del canal o los canales ocupados por un usuario en la celda que abandona y la asignación de nuevo o nuevos canales en la celda a la que ingresa. Los handoff se suelen clasificar en hard-handoff y soft-handoff. En el primero la conexión del usuario se pierde durante un corto lapso de tiempo (400 ms aproximadamente) en el cambio de canales, y normalmente ocurre cuando la celda a la que ingresa el usuario tiene canales en frecuencias distintas a las de los canales de la celda que abandona (esto es, división en frecuencia) pues el transmisor y receptor del móvil se deben sintonizar en las nuevas frecuencias. En el soft-handoff la conexión siempre se mantiene, lo cual es posible solo en sistemas CDMA pues la multicanalización se logra a través de códigos ortogonales y no por división de frecuencias, por lo que el transmisor y receptor no deben sintonizarse en otras frecuencias durante el cambio. El proceso de handoff involucra a las estaciones base, los controladores de estaciones base y en algunos casos a las centrales

de conmutación móvil, dependiendo de cuales son las celdas que abandona e ingresa el usuario.

#### **4. APLICACIONES EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES 3G**

Si se desea resumir en una sola palabra lo que la mayoría de usuarios esperan tener desde su teléfono móvil, se podría decir que es "movilidad". Con base en esta necesidad la industria se ha dedicado en los últimos años a desarrollar servicios de valor agregado en los sectores de servicios de redes, servicios de información y servicios interactivos. Los servicios de redes comprenden el tratamiento de llamadas (llamada en espera, re-direccionamiento de llamada, etc), servicios de mensajería (ya sea de voz, facsímil o mensajes cortos), servicios de transmisión de datos (por ejemplo, Internet móvil, Tecnología WAP, XHTML, etc), servicios corporativos (por ejemplo, Red Privada Virtual VPN, redes WAN, etc), servicios de tarificación, costes (por ejemplo, facturación detallada, pago con tarjeta de crédito, consulta de facturación, límites, etc) y acceso a pico redes mediante Bluetooth. Los servicios de información se dedican entre otros a información de tráfico, meteorológica, financiera, etc. Los servicios interactivos suponen una interacción entre el usuario y el centro proveedor del servicio; por ejemplo, recuperación de vehículos, reserva de hoteles, etc. Estos servicios se analizan en forma detallada en [12], [13].

En Colombia los operadores como Telefónica Móviles, Comcel y Colombiamóvil (OLA), se encuentran ofreciendo servicios como el de mensajes cortos que ha sido muy bien acogido. Pero estas empresas están yendo mas allá al entregar móviles, módems y redes que permiten soportar servicios para supervisión y comunicación de diferentes equipos como vehículos, alarmas, cajeros automáticos, etc. Otra alternativa que el usuario puede encontrar es navegar desde su móvil o también conectar el computador o la agenda electrónica al móvil para acceder a Internet [14], [15] y [16].

En resumen, las tecnologías de comunicaciones móviles 3G han creado nuevas oportunidades de negocio pues han introducido la transmisión de datos. Para obtener el máximo beneficio de estas oportunidades empresas fabricantes, operadores, desarrolladores de aplicaciones, proveedores de

servicios y contenido han unido esfuerzos para el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios que satisfagan necesidades de la vida laboral y cotidiana de las personas. Estas oportunidades también están disponibles en Colombia.

#### **5. SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES EN COLOMBIA**

La implantación de los sistemas de comunicaciones móviles en Colombia, comenzó con la introducción de la tecnología DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) hacia 1994 [2]. La elección de esta tecnología se debió principalmente a dos razones: había sido implementada en otros países de Latino América y en los Estados Unidos, lo que facilitaría hacer roaming en la región; y presentaba un menor costo en comparación con otras tecnologías. Hasta ese momento las compañías operadoras se mantenían intactas en su composición accionaria, pero de acuerdo a los cumplimiento legales, se podían hacer modificaciones a partir del año 1997. A partir de aquí vinieron cambios que permitió fusionar varias compañías, con el fin de reducir costos de operación y costos de servicios al eliminar cargos de roaming, cargos de interconexión, costos de ventas, publicidad y administrativos. Entonces Comcel adquirió la mayoría de las acciones de la red en la región occidental y la compañía Celumovil adquirió el control del operador de occidente Ocel. Para el año 2003 se encontraban rigiendo el mercado dos grandes grupos, Comcel y Bellsouth Colombia, los cuales estarían listos para competir en la siguiente generación (2.5G) y con un nuevo competidor colombiano, Colombiamóvil. Finalmente Bellsouth Suramérica, incluyendo Bellsouth Colombia, pasó a manos de Telefónica Móviles, empresa española.

Actualmente en Colombia existen tres operadores Comcel, Colombiamóvil y Telefónica Móviles; los dos primeros con redes GSM/GPRS en las bandas 800 MHz y PCS, y el último con cdma2000 1X. En las redes de Comcel y Bellsouth todavía se dispone de tecnología IS-136 (2G) para atender a los usuarios de la red 2G durante la transición. Curiosamente ninguna de estas redes es compatible entre sí en la interfaz de aire (esto es, el acceso de la estación móvil a la estación base), por lo que usuarios con dispositivos móviles de un operador no puede usar la nuevas tecnologías de otros operadores o tienen que adquirir equipos más

costosos, condición que no beneficia ni a los operadores ni a los usuarios.

## 6. CONCLUSIONES

La necesidad de las personas por estar permanentemente comunicadas es la causa del desarrollo de las tecnologías de comunicación móvil. Este desarrollo se ha dado por generaciones cada una ofreciendo mejores servicios al usuario. Mundialmente la tercera generación esta siendo adoptada, y en este sentido en Colombia se han instalado redes GSM/GPRS y cdma2000 1X, tecnologías 2.5G, que le permiten al usuario acceder a servicios de datos, además del tradicional servicio de voz. El paso a seguir es la cuarta generación, que esta en desarrollo, y busca la convergencia de varias tecnologías inalámbricas, lo que permitirá la implementación de múltiples aplicaciones que facilitarán a las personas la realización de tareas laborales y cotidianas.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. Free Statistics. <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>
- [2] COMISIÓN DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES - CRT, Telefonía Móvil Celular Cap. 4, [http://www.crt.gov.co/documentos/infeconomica/publi\\_sector/](http://www.crt.gov.co/documentos/infeconomica/publi_sector/)
- [3] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, International Mobile Telecommunications (IMT-2000), Recomendación M.687-2.
- [4] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000), Recomendación M.1457.
- [5] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, Recomendación M.1225.
- [6] LU W, 4G Mobile Communications: Toward Open Wireless Architecture. IEEE Wireless Communications. Abril 2004.
- [7] MAC DONALD V H. The Cellular Concept. The Bell System Technical Journal. Enero 1979.
- [8] TISAL J. La Red GSM. Paraninfo Editores. 1999.

- [9] MEHROTRA A. GSM System Engineering. Artech House Publisher. 1996.
- [10] TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION. Introduction to cdma2000 Spread Spectrum Systems. Documento TIA-2000.1-D. Marzo 2004.
- [11] PICKHOLTZ R L, SCHILLING D L, MILSTEIN L B. Theory of Spread Spectrum Communications – A Tutorial. IEEE Transactions on Communications, Vol. Com-30, No. 5. Mayo 1992.
- [12] BLÁZQUEZ DE JULIÁN J. Servicios Móviles de Valor Añadido, Comunicaciones de Telefónica I+D. <http://www.tid.es/presencia/publicaciones/comsidd/esp/articulos/vol812/smoviles/>
- [13] NOKIA. Tecnologías Móviles de Nokia. <http://www.nokia.es/telefonos/tecnologias/>
- [14] COMCEL 3GSM. Aplicaciones 3GSM. <http://www.comcel.com/aplicaciones3gsm/>
- [15] BELLSOUTH DE COLOMBIA. Internet Móvil. <http://www.bellsouthim.net.co/>
- [16] COLOMBIAMOVIL. Servicios Básicos de Datos. <http://www.ola.com.co/>

## AUTORES



**Fabio Guerrero.** Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca (1992). M.Sc Real Time Electronic Systems, Bradford University, UK (1995). Actualmente es profesor asistente de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Valle en el Area de Telecomunicaciones [fguerrer@univalle.edu.co](mailto:fguerrer@univalle.edu.co)



**Javier Eduardo Parra Moreno.** Estudiante de último semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. [javparra@univalle.edu.co](mailto:javparra@univalle.edu.co)



**Gustavo Adolfo Vejarano Acosta.** Estudiante de último semestre de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle. [gustavov@univalle.edu.co](mailto:gustavov@univalle.edu.co)