

# 4G: Expectativas, Aplicaciones y Retos Existentes en su Implementación

**Francisco Tello**

Universidad Tecnológica de Panamá, estudiante  
fratello\_1088@hotmail.com

**Resumen-** Cada vez son mayores los requerimientos de los sistemas inalámbricos por la creciente necesidad de información diversa por parte de los usuarios. Nos encontramos actualmente en el punto de transición entre una generación de tecnología y otra. Y si bien es cierto que la próxima generación aún no está completamente definida, ya es posible observar algunas tendencias, principalmente un enfoque hacia las necesidades del usuario y la convergencia de las tecnologías existentes en un solo sistema generalizado que se adapte a las necesidades del momento, al igual que mejorar las capacidades de los sistemas ya existentes. Sin embargo, hay muchas dificultades que frenan el avance de la cuarta generación, por lo que a nivel mundial se hacen contribuciones y sugerencias de cómo resolver los problemas que van siendo encontrados. En este documento veremos algunas de las expectativas generales que se tienen de la cuarta generación, las tecnologías clave en la implementación de la misma, así como los retos existentes en su desarrollo y algunas de sus potenciales aplicaciones.

**Palabras Claves-** 3G, 4G, SDR, CDMA, Protocolo de Internet

## 1. Introducción

El mundo de las comunicaciones móviles es uno de los ambientes más rápidamente cambiantes en el ya agitado mundo de la tecnología, y casi a la misma velocidad los usuarios asimilan estos cambios, y al mismo tiempo demandan más de sus proveedores. Desde sus inicios, en la llamada primera generación (1G) en la década de los 80, las comunicaciones inalámbricas han jugado un papel decisivo en el mundo. En aquel entonces, sus principales usuarios eran profesionales del área, pero rápidamente su uso se extendió a las masas con el advenimiento de la 2G hacia finales de la década. El ritmo de crecimiento ha seguido aumentando en los últimos años, y ahora que nos encontramos en todo el apogeo de la 3G, es difícil imaginar una vida sin todas estas comodidades como lo son el Internet inalámbrico de alta velocidad, llamadas de video de celular a celular, servicios de multimedia banda ancha, "roaming" y demás. Se espera que la 4G haga su aparición este 2010, y el consenso general es que esta tecnología estará muy centrada en el usuario. Esto significa que los desarrollos y las investigaciones estarán dirigidos por los deseos y necesidades de los usuarios mismos, y supondrá un cambio en la dirección usual del desarrollo tecnológico, que irá ahora desde el usuario hacia la tecnología.

## 2. ¿Qué esperar de la 4G?

Los estándares de la próxima generación aún están por definirse completamente, pero existen ya ciertas expectativas generales del futuro de la tecnología inalámbrica, que se dividen en dos grupos.

La visión actual en Asia es una visión relativamente lineal, en la que la tecnología ya existente simplemente escalará hacia mayores tasas de transferencia de datos (potencialmente superiores a 100 Mbps), redes más robustas y soporte multimedia en cualquier lugar. Sin embargo, en Europa existe una visión menos enfocada en poder, pero más orientada hacia la estandarización de los diferentes esquemas de manera que exista una integración sin grietas, por así decirlo, entre los sistemas ya existentes. Este será el punto de vista discutido en este artículo.

Este nuevo enfoque dirigido hacia el usuario, obedece a que los desarrolladores aprendieron de los errores que cometieron al incorporar los sistemas de 3G. Los usuarios consideraron que los nuevos servicios y aplicaciones de la 3G no eran suficientemente atractivos para abandonar inmediatamente sus viejos sistemas, por lo cual la transición ha sido un poco lenta. Sistemas como la comunicación telefónica con video, que se consideraba uno de los aspectos más fuertes de la 3G, no tuvieron mucho éxito puesto que demandaban concentración adicional del usuario (e.g. contacto visual), aunado a la mala calidad en el video. En la Tabla 1 se hace una comparación general de las características de los sistemas 3G y 4G.

La pregunta que impulsa actualmente a los desarrolladores es ¿qué necesitan los usuarios que no tengan aún?

**Sistemas Amistosos y Personalizados.** Esto implica que cualquier persona debería ser capaz de tener acceso al servicio. Ya no estamos en una época en la que sólo los usuarios ávidos y estudiosos de la materia hagan uso de estos sistemas, sino que estos sistemas forman parte de la vida de básicamente cualquier persona en el mundo, por lo cual los mismos deben ser de acceso relativamente sencillo.

**Heterogeneidad de terminales.** Los usuarios deben ser capaces de acceder a la información que necesiten desde una amplia gama de dispositivos que vayan desde su teléfono celular hasta su computadora personal, para garantizar el acceso libre en cualquier lugar. Por ejemplo, mientras un usuario se encuentra en su trabajo recibe sus mensajes directamente en su computadora de la oficina; cuando viaja de regreso a su casa sus mensajes llegan a su teléfono móvil; y al llegar a casa recibe sus mensajes en su computadora personal.

Para ello es necesario un sistema capaz de identificar la localización del usuario dentro de la red, y seleccionar de manera adecuada el dispositivo en el que el usuario puede recibir su información.

**Heterogeneidad de redes.** Una de las principales expectativas, es tener un sistema en la que una amplia gama de servicios, como Wi-Fi, GPS, GSM, UMTS, CDMA, WiMAX, entre otros, estén disponibles al usuario desde un mismo dispositivo, y que exista la capacidad de cambiar entre ellos sin ningún inconveniente. De esta forma, el usuario puede acceder a su información usando el sistema más conveniente, por ejemplo, si necesita una reproducción fiel de un mensaje de voz utilizaría GSM o CDMA; si requiere descargar contenido multimedia hace uso de Internet a través de Wi-Fi; si necesita obtener la mejor ruta para llegar a su trabajo utilizaría GPS, etc. En la Figura 1 podemos ver un ejemplo de este concepto.

**Compatibilidad con la Infraestructura Existente.** Uno de los problemas encontrados al establecer nuevos estándares de tecnología, es que muchas veces éstos no tienen compatibilidad en retrospectiva hacia los sistemas antiguos.

Esto no sólo implica grandes costos de inversión para crear las nuevas infraestructuras, sino que conlleva problemas para el usuario

Tabla 1. Comparación de las características de los Sistemas 3G y 4G.

	3G	4G
<b>Tecnologías</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso Múltiple por División de Código (CDMA IS-95 y CDMA 2000)</li> <li>• División de Código Síncrona de Acceso Múltiple por División de tiempo (TD-SDM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonal (OFDM)</li> <li>• CDMA de Portadora Múltiple (MC-CDMA)</li> <li>• Entradas Múltiples, Salidas Múltiples (MIMO)</li> <li>• Protocolo de Internet Móvil v6 (MIPv6)</li> </ul>
<b>Características Principales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente calidad de transmisión de voz</li> <li>• Roaming mejorado</li> <li>• Servicios de datos banda ancha como vídeo y multimedia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas Amigables y Personalizables</li> <li>• Heterogeneidad de terminales</li> <li>• Heterogeneidad de redes</li> </ul>
<b>Tasas de Transferencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hasta 2 Mbps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convergencia de tecnologías ya existentes con tecnologías desarrolladas recientemente</li> <li>• Hasta 100 Mbps en situaciones móviles y hasta 1 Gbps en situaciones estáticas</li> </ul>

a la hora de actualizarse a la nueva tecnología, y en un sistema que está enfocado a la necesidad del usuario esto no sería aceptable.

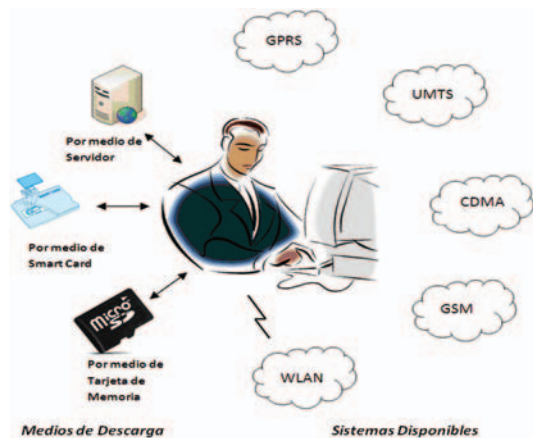


Figura 1. Las redes heterogéneas son un punto clave en la implementación de los sistemas 4G.

### 3. Un Sistema de Arquitectura Abierta

Para responder a la necesidad de un sistema intuitivo, heterogéneo y de fácil acceso, uno de los pasos a tomar es crear una infraestructura inalámbrica abierta. De esta manera, es posible para un usuario acceder rápidamente al servicio más conveniente dependiendo del lugar donde se encuentre. Esto requiere no sólo redes flexibles, sino también dispositivos muy adaptables.

Un sistema con un nivel de sinergia como este, permitiría incrementar la eficiencia de potencia igualmente. En vez de ser necesario que una terminal lejana a la central trate de acceder por su cuenta el sistema, esta terminal podría comunicarse con otras terminales vecinas, cooperando entre sí para llegar a la estación base.

Uno de los cambios necesarios para alcanzar esta meta es hacer uso de un sistema de radio definido por software (SDR). Estos sistemas funcionan con una sección digital totalmente reprogramable que se puede ajustar a los requerimientos de múltiples sistemas, aceptando diversas frecuencias y trabajando con varios esquemas de modulación diferentes simplemente cambiando su software.

El sistema está compuesto de manera general, por una antena,

un filtro pasa banda (BPF) que seleccione la señal deseada, un amplificador de bajo ruido (LNA), un convertidor analógico-digital (A/D) y finalmente llega a un procesador de señales digitales (DSP) que hace la función deseada en el sistema. La Figura 2 ilustra el diagrama de bloques de este sistema.

Otro punto importante son los mensajes que se envían periódicamente en las redes inalámbricas hacia las terminales, para actualizarlas con la información actual del sistema. El problema con la integración de todos estos sistemas (CDMA, WiFi, UMTS, CDMA, etc.) en un solo supersistema global, es que resultaría casi imposible la actualización de todos.

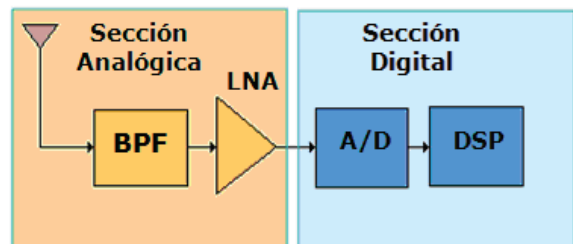


Figura 2. Diagrama de bloques general del Sistema de Radio Definido por Software.

Una de las posibles vías de solución a este problema es designar un solo canal predefinido para informar a las terminales del estado de las redes disponibles. También resulta necesario hacer uso de algoritmos inteligentes a la hora de seleccionar las redes más apropiadas. La conveniencia de una red específica dependería de los requerimientos de servicio y la calidad necesaria del mismo.

### 4. Retos en la Implementación del Sistema

Los problemas principales que surgen para implementar un sistema como éste, consisten en el manejo de ubicación y el manejo de "handoff".

El manejo de ubicación se refiere a rastrear y ubicar las diferentes terminales que se pueden conectar a la red en determinado momento.

En sistemas 4G, cada terminal tiene asignada un agente o principal, que tiene una dirección IP permanente. Cuando la terminal se dirige a otra locación, obtiene una dirección temporal.

La terminal actualiza regularmente al agente principal con su dirección temporal actual.

“Handoff” se refiere al proceso de transferir un servicio de una estación base a otra, o de una celda a otra, dentro del sistema, cuando la calidad del enlace es insuficiente. Normalmente, en sistemas 3G sólo existe handoff horizontal, puesto que los diferentes servicios no están interconectados. El handoff horizontal sólo cambia entre celdas pertenecientes a un mismo sistema. En sistemas 4G, sin embargo, surge la necesidad de un proceso de handoff vertical. Este consiste en el cambio entre diferentes servicios dentro del sistema, como cambiar entre una red WLAN y una red GSM. En la Figura 3 se ilustra el concepto de Handoff.

Debido a que las redes 4G deben manejar servicios multimedia de tiempo real, el tráfico será altamente sensible al tiempo. Adicionalmente, cada operación de handoff, especialmente las verticales, tienen una cierta latencia, por lo que es necesario tener algoritmos robustos para manejar estos procesos.

La solución para implementar sistemas de arquitectura abierta usando SDR también presenta ciertos retos en su implementación. En primer lugar, resultaría imposible manejar muchos rangos de frecuencia y esquemas de modulación con una sola antena, o los mismos amplificadores de bajo ruido, por lo que serían necesarias varias antenas (por ejemplo con un sistema MIMO). Esto, sumado al hecho de que los procesadores de señales digitales consumen una gran cantidad de energía hacen que la reducción en consumo de energía sea un reto importante.

Otras complicaciones importantes que surgen al hacer converger tantas tecnologías son los sistemas de seguridad y los planes de pago. Cada uno de estos sistemas tiene un esquema de seguridad propio, pero ninguno de estos esquemas es capaz de satisfacer las necesidades de todos los sistemas a la vez, por lo que deben ser replanteados de manera que resulten flexibles. En cuanto a los pagos de los servicios, el problema radica en que el usuario accederá a múltiples servicios desde una misma terminal, por lo que pagar a cada uno de los proveedores de manera separada resultaría complicado. Un esquema de pago debería reemplazar y cubrir todos los esquemas de pago involucrados. Una opción sería utilizar una tarifa fija que pudiera ser usada para cada acceso, independiente de la red o de la localización del usuario.

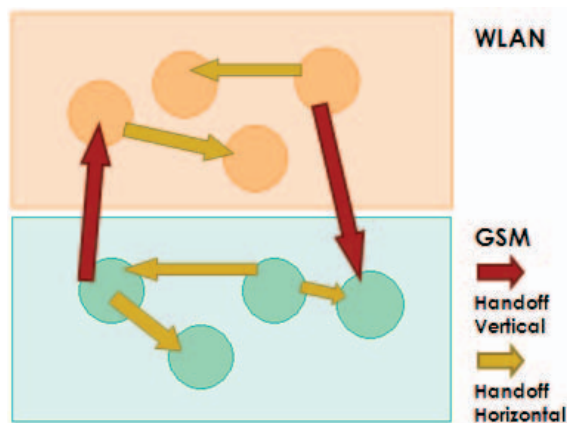


Figura 3. Handoff Horizontal (flechas amarillas) y Vertical (flechas rojas) entre las terminales en un sistema 4G.

## 5. Tecnologías Clave

Implementar un sistema de redes tan complejo requiere la cooperación de un gran número de tecnologías que puedan ejercer todas estas funciones. Vimos que para poder operar entre diversos esquemas de redes inalámbricas a la vez, es posible hacer uso de un Sistema de Radio Definido por Software, pero existen muchas otras necesidades que satisfacer en un sistema 4G. Para conectar a la multitud de terminales y servicios entre sí, es posible hacer uso de una red PAN de Banda Ultra Ancha (UWB), y para identificar a cada terminal dentro de esta red es necesario hacer uso del Protocolo de Internet Móvil v6 (MIPv6). También se requiere el uso de esquemas de multiplexión y modulación robustos que soporten el gran flujo de información. A continuación, explicaremos brevemente en qué consisten algunas de las tecnologías más importantes en la implementación de las redes 4G.

**Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA).** En un sistema OFDMA, el principio de funcionamiento es utilizar un gran número de subportadoras ortogonales cercanas unas de las otras para transmitir la información. Esta se divide en varios canales de datos, uno para cada portadora, que luego son moduladas con un esquema de modulación convencional como QAM. Para mantener la ortogonalidad, se les agrega un prefijo cíclico a las subportadoras, y un intervalo de guarda entre cada símbolo OFDMA. El Acceso Múltiple se logra asignando subportadoras a usuarios individuales, lo que permite transmisiones simultáneas de varios usuarios.

Para implementar este esquema, es necesario utilizar algoritmos de Transformada de Fourier Rápida (FFT) tanto en el transmisor como en el receptor.

OFDMA es más robusto a la interferencia de multitrayectorias y puede alcanzar mayor eficiencia espectral en MIMO que CDMA, pero es bastante sensible al ruido de fase y a desplazamientos de frecuencia.

**Acceso Múltiple por División de Código con Portadoras Múltiples (MC-CDMA).** Esta es una tecnología muy útil para reducir las interferencias de acceso múltiple (MAI) y las interferencias entre símbolos (ISI), que resulta de un esquema híbrido entre OFDM y CDMA. Al igual que el OFDM, el MC-CDMA puede cancelar la distorsión multitrayectoria de manera que se mejore considerablemente la eficiencia espectral. La idea básica de este esquema es mantener un sentido de ortogonalidad entre usuarios, por medio de códigos de distribución ortogonal definidos en el dominio de la frecuencia. A veces, es posible hacer uso de códigos pseudo ortogonales para aumentar el número de usuarios que se pueden acomodar, con la desventaja de que estos códigos admiten más interferencia que los totalmente ortogonales.

En un transmisor MC-CDMA se toma la entrada de información y se convierte en secuencias de datos paralelas que se multiplican por el código de distribución ortogonal y con una señal subportadora. Luego, en el receptor, se demodula la señal de manera coherente, para luego pasar por un filtro pasabajas que proporciona cada una de las señales ortogonales. Luego, estas señales se suman para recuperar la información a la salida. En la Figura 4 se muestran los diagramas de bloques del transmisor y receptor MC-CDMA.

**Sistema de Múltiples Entradas - Múltiples Salidas (MIMO).** En un sistema MIMO, el objetivo es que al enviar una misma señal a través



de múltiples antenas, se obtenga una señal más fuerte que al llegar al receptor igualmente sea captada por múltiples antenas, obteniendo un gran calidad de señal recibida, mejor confiabilidad, eficiencia espectral y velocidad de transferencia de datos. Otra ventaja de los sistemas MIMO es que usualmente trabajan en el rango de los 2 a los 5 GHz, donde las características de propagación son favorables y el costo del equipo de radiofrecuencia es bajo.

Al utilizar un sistema de antenas múltiples junto con los esquemas de OFDM o de MC-CDMA, la respuesta del canal se convierte en una matriz. Con la codificación adecuada, el efecto de multitrayectorias se puede usar como una ventaja en un sistema OFDM.

Radio Definido por Software (SDR). SDR es la tecnología clave para proveer a las redes 4G de equipos de bajo costo capaces de operar en múltiples estándares y en bandas de frecuencias diversas, por medio de procesamiento multicanalizado simultáneo.

Como se explicó anteriormente, un sistema SDR está compuesto por una antena, un filtro pasa-banda y un amplificador de bajo ruido, que constituyen la parte analógica. Luego, la sección digital consiste en un convertidor analógico/digital, y un procesador de señales digitales, que se encarga de todo el procesamiento necesario en el esquema que se esté utilizando en ese momento.

La parte digital puede reprogramarse para trabajar en otros esquemas diferentes. En teoría, el poder de procesamiento actual debe permitir desarrollar esta clase de terminales adaptables a las tecnologías inalámbricas disponibles.

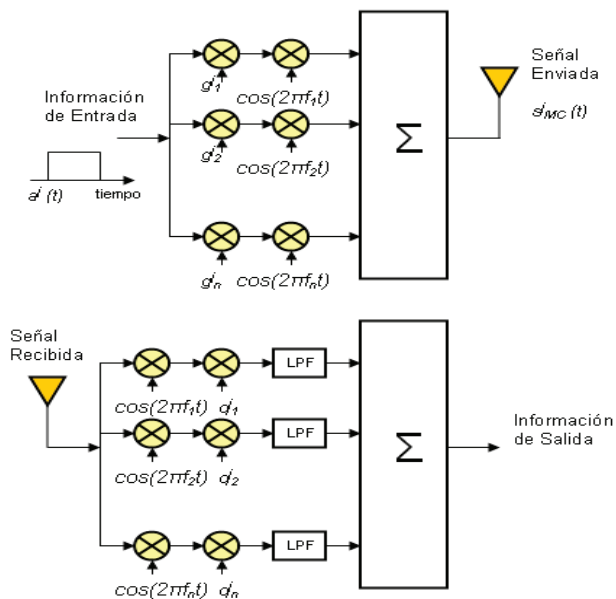


Figura 4. Diagramas de bloques del transmisor (arriba) y receptor (abajo) de un sistema MC-CDMA

**Protocolo Móvil de Internet v6 (MIPv6).** Las comunicaciones móviles futuras estarán basadas en el protocolo de Internet IPv6, ya que éste provee una cantidad esencialmente infinita de espacio para direcciones (se usan direcciones de 128 bits, por lo que el número de direcciones posibles es de 2128), lo cual sería de extrema utilidad al momento de asignarle direcciones IP individuales a cada uno de los dispositivos presentes en las redes 4G.

El MIPv6 provee de movilidad ilimitada entre redes de acceso, p

por lo que los dispositivos de los usuarios pueden moverse libremente de red a red sin afectar a otros, e implementado correctamente, podría solucionar el problema del "handoff".

La limitación al implementar un sistema generalizado de direcciones IP, es que las tecnologías que actualmente no funcionan con protocolos de Internet podrían resultar difíciles de adaptar a este sistema.

## 6. Últimos desarrollos

A principios de 2008 se iniciaron las pruebas de un proyecto para una nueva interfaz de alto rendimiento para sistemas de comunicación celular, Evolución a Largo Plazo (LTE). Este sistema propone una arquitectura de red basada completamente en protocolo de Internet, al igual que el uso de sistemas de radio definido por software, uso flexible del espectro y anchos de banda superiores a los 20 MHz (potencialmente hasta los 100 MHz).

El sistema fue propuesto a finales del 2009 al Sector de Estandarización de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) como un candidato para sistemas de 4G, y se espera un lanzamiento global en el 2011.

Verizon Wireless inició las pruebas de su red de 4G basada en tecnología LTE a finales de 2009, y planea iniciar su implementación en el 2010. En estas pruebas lograron llamadas de datos exitosas sobre un espectro de 700 MHz logrando streaming de video, subidas y descargas de archivos, y navegación por la Web. También lograron implementar el sistema de Voz sobre IP para permitir transmisiones de voz sobre su red LTE 4G. AT&T iniciará sus pruebas de una red LTE 4G en 2010 con planes de implementación en 2011.

## Referencias

- [1] Suk Yu Hui; Kai Hau Yeung. "Challenges in the migration to 4G mobile systems". Communications Magazine, IEEE. Hong Kong, China. 2003. pp. 54-59.
- [2] N. Alonistioti; N. Passas; A. Kaloylos; H. Chaouchi; M. Siebert; M. O'Droma; I. Ganchev; F. Bader. "Business Model And Generic Architecture for Integrated Systems And Services: The ANWIRE Approach". 8th Wireless World Research Forum meeting. China. 2004.
- [3] J. Sodnik; M. Stular; V. Milutinovic; S. Tomazic (2008). "Mobile Communications: 4G". Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications. Media Mobile Comm. 2008. pp. 634-642.
- [4] A. Rana; K. Kaur; A. Aggarwal. "Wireless Network (3G & 4G)". AIMT. Ambala. 2004.
- [5] N. Montavont, T. Noel, "Handover management for mobile nodes in IPv6 networks," Communications Magazine, IEEE, Volumen: 40, Edición: 8. 2002. pp.38 - 43.
- [6] Frommer, Dan (2009). Verizon Wireless testing 4G 'LTE' Network todansider.com/verizon-wireless-testing-4g-lte-network-today-2009-8
- [7] Chen, Brian (2009). AT&T plans 3G Network Upgrades, 4G Rollout.[Online]. Disponible en: <http://www.wired.com/gadgetlab/2009/05/att-plans-3g-network-upgrades-4g-rollout/>
- [8] (2010) The 3GPP and LTE Website. [Online]. Disponible en: <http://www.3gpp.org/>