



Universidad Nacional
ARTURO JAURETCHE

Información y Comunicaciones

TP Final

Salvatori Emiliano Daniela Mercau

Daiana Ávila

Julio del 2020

Índice

1. Objetivos	3
2. Introducción	3
3. Generación Cero (0G)	4
3.1. Tecnología 0.5G	4
3.1.1. Ejemplo de tecnología 0G	4
4. Primera Generación (1G)	5
4.1. Estándares de Tecnología 1G	5
5. Segunda Generación (2G)	6
5.1. Tecnología 2G y 2.75G	6
5.1.1. Sistema GSM	7
5.2. Tecnología 2.5G y GPRS	9
5.3. Tecnología 2.75G y EDGE	10
6. Tercera Generación (3G)	10
6.1. Tecnología 3G y 3.75G	10
6.2. Tecnología 3.5G y HSDPA	12
6.3. Tecnología 3.75G y HSUPA	12
7. Cuarta Generación	13
8. Quinta Generación (5G)	14
8.1. Descripción General	14
8.2. Características	14
9. Conclusiones	15
10. Resumen sobre OFDM	17
11. Herramientas	17
11.1. Materiales utilizados para el presente trabajo	17
Bibliografía	18

1. Objetivos

En el siguiente informe se detalla lo realizado como parte del laboratorio de la materia **Información y Comunicaciones** para la **Comisión n° 2**. El propósito será realizar una comparativa entre las distintas redes de tecnología móvil; como también brindar un panorama general del surgimiento de cada una de ellas y su evolución.

Se tratará de arrojar luz sobre la evolución y el desarrollo de varias generaciones de tecnología *wireless* teniendo en cuenta el impacto generado y las ventajas de unas sobre las otras.

La implementación realizada para este trabajo se basa en lo siguiente:

- Realizar una descripción sobre el nacimiento y la evolución de las tecnologías de redes móviles, las cuales son **0G, 1G, 2G, 3G, 4G y 5G**.
- Desarrollar un análisis comparativo entre las distintas redes.
- Generar un consenso sobre temas tratados en la materia **Información y Comunicaciones**.

Asimismo en el presente trabajo, se hará uso del término *nG* para designar a la *n*ésima generación de redes de telefonía.

2. Introducción

La comunicación "sin cables", inalámbrica o mejor conocida como *wireless* es la transferencia de información a distancia sin el uso de conductores eléctricos o "cables". Dicha distancia puede ser corta (unos pocos metros como por ejemplo, la distancia entre un control remoto y un televisor) o puede ser de muchos kilómetros (como por ejemplo las comunicaciones de radio).

Las investigaciones de los últimos años han hecho foco en la implementación de la tecnología de quinta generación, abreviada 5G, y el desarrollo de la *World Wide Wireless Web* (WWWW), *Dynamic Adhoc Wireless Networks* (DAWN) y la *Real Wireless World*.

La tecnología móvil inalámbrica comenzó su carrera allá por comienzos de los años setenta. En las últimas décadas, éstas tecnologías han experimentado seis generaciones de evolución tecnológica, es decir, de la 0G hasta la 4G (siendo la quinta generación - 5G - la que está irrumpiendo al momento de realizar este informe).

El concepto de *Telefonía celular* fue recién introducido en la primera generación (1G), la cual hizo posible la comunicación inalámbrica a gran escala. La comunicación digital reemplazó la tecnología analógica en la segunda generación, la cual significó un progreso enorme en lo que respecta a la calidad de comunicaciones móviles.

La comunicación de datos, además de la comunicación de voz, fue el foco principal de la tecnología de tercera generación, la cual dio el puntapié inicial para las comunicaciones de dato y voz.

3. Generación Cero (0G)

La telefonía inalámbrica comenzó allá a lo lejos, con lo que podemos denominar 0G. Fue el antecesor del servicio de telefonía móvil, que estuvo disponible al finalizar la Segunda Guerra Mundial. En aquellos tiempos antes del celular, uno tenía a disposición un operador móvil para coordinar las llamadas y sólo había un puñado de canales disponibles para ello.

La tecnología 0G se refiere a la tecnología de telefonía móvil como los teléfonos de radio que tuvieron algunos autos antes del advenimiento de los teléfonos celulares. Se podría decir que estos sistemas de radiotelefonos móviles fueron los antepasados lejanos de los modernos teléfonos celulares.

Dentro de la tecnología utilizada en los sistemas de 0G pueden incluirse: PTT (Push to Talk), MTS (Mobile Telephone System), IMTS (Improved Mobile Telephone Service), AMTS (Advanced Mobile Telephone System), OLT (Norwegian for Offentlig Landmobil Telefoni, Public Land Mobile Telephony) and MTD (Mobile Telephony System D).

Uno de los aspectos que distinguía a estos sistemas de radiotelefonía con respecto a los anteriores, es que estas unidades estaban disponibles como un sistema comercial del que formaban parte también la red telefónica pública conmutada, con sus propios números de teléfono, a diferencia de los sistemas anteriores de red, que eran cerrados como por ejemplo, los de una estación de policía.

3.1. Tecnología 0.5G

Este tipo de telefonía usualmente estaban montados sobre autos, camiones y algunas veces venían en su modelo para transportar dentro de un maletín. Típicamente, el *transceptor* (transmisor-receptor) se montaba en el maletero del vehículo y se conectaba a la "cabeza" (esfera, pantalla y auricular) montada cerca del asiento del conductor.

Estos dispositivos se comercializaron a través de la denominada Operadores Comunes de Telefonía Fija (WCC - *Wireline Common Carriers*), Operadores comunes de Radio (RRC - *Radio Common Carriers*) y otros distribuidores de radio bidireccionales. Y sus principales usuarios fueron jefes de la construcción, agentes inmobiliarios y celebridades. Su uso se limitó a las comunicaciones básicas de voz.

3.1.1. Ejemplo de tecnología 0G

Algunos primeros ejemplares de esta tecnología pueden ser:

1. El **Autoradiopuhelin** (ARP) se lanzó en 1971 en Finlandia como la primera red pública de telefonía móvil comercial del país.
2. El **B-Netz** se lanzó en 1972 en Alemania como la segunda red pública de telefonía móvil comercial del país (pero la primera que ya no requería operadores humanos para conectarse)

4. Primera Generación (1G)

El acrónimo 1G significa "Tecnología de Primera Generación" (*First Generation Technology*), y hace referencia a la primera generación de tecnología en telecomunicaciones inalámbricas, conocida popularmente como *telefonía celular*. Mediante un conjunto de estándares inalámbricos desarrollados en la década de 1980, la tecnología 1G reemplazó a la tecnología 0G, que presentaba teléfonos de radio móviles y tecnologías tales como el Sistema de Teléfono Móvil (MTS - *Movil Telephone System*), el Sistema de Teléfono Móvil Avanzado (AMTS - *Advanced Mobile Telephone System*), el Servicio de Teléfono Móvil Mejorado (IMTS - *Improved Mobile Telephone Service*) y Pulsar Para Hablar (PTT - *Push to Talk*). Este tipo de tecnologías dividían el espacio geográfico en una red de celdas, utilizando diferentes frecuencias para las distintas comunicaciones que se establecían.

Las redes inalámbricas de 1G utilizaron señales de radio analógicas, es por ello que a través de este tipo de tecnologías, una llamada de voz se modulaba a un nivel de frecuencia superior a los 150 MHz aproximadamente, variando la frecuencia a medida que se transmite entre las torres de radio. Esto es posible mediante el uso de una técnica denominada Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA - *Frequency-Division Multiple Access*).

En términos generales de conexión, y realizando una comparación con las tecnologías que le sucedieron, la tecnología 1G sale desfavorecida, debido a su baja capacidad, a la transferencia de datos poco fiables, ya que contiene enlaces de voz deficientes y no provee ninguna seguridad ya que las llamadas de voz se replican en torres de radio, lo que hace que estas llamadas sean susceptibles a introducir mensajes no deseados.

Sin embargo, la tecnología 1G mantuvo algunas ventajas por sobre su sucesora, la tecnología 2G. En comparación con las señales analógicas de 1G, las señales digitales provenientes de 2G dependían mucho de la ubicación y la proximidad a la antena repetidora. Si un teléfono con 2G realizaba una llamada lejos de la torre, la señal digital podía no ser lo suficientemente fuerte como para alcanzarla y perdía conexión. Si bien una llamada realizada desde un teléfono con 1G generalmente tenía peor calidad que la de 2G, resistía a distancias mucho más largas. Esto se debía a que la señal analógica tiene una curva suave en comparación con una señal digital, la cual tiene una curva angular irregular. A medida que las condiciones empeoraban, la calidad de una llamada realizada desde un teléfono con 1G desmejoraba gradualmente, pero una llamada realizada desde un teléfono 2G, bajo las mismas circunstancias fallaba por completo.

La tecnología 1G no requería de protocolos de comunicación como los que hoy conocemos, debido a que las señales se transmitían de forma analógica.

4.1. Estándares de Tecnología 1G

Se utilizaron diferentes estándares 1G en varios países.

- Uno de estos estándares fue el NMT (Nordic Mobile Telephone), utilizado en países nórdicos, Europa del Este y Rusia en la banda de 900Mhz. Años más tar-

de, este mismo estándar, acabaría dando lugar al Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM - *Global System for Mobile Communications*).

- Otros incluyeron el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS - *Advanced Mobile Phone System*) utilizado en los Estados Unidos.
- Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS - *Total Access Communications System*) en el Reino Unido.
- C-Netz en Alemania Occidental.
- Radiocom 2000 en Francia.
- RTMI en Italia.

5. Segunda Generación (2G)

5.1. Tecnología 2G y 2.75G

2G es la abreviatura para referirse a la Tecnología de Telefonía Inalámbrica de Segunda Generación. Esta generación no fue meramente un nuevo estándar o protocolo, sino que significó el cambio de la tecnología analógica a la tecnología digital.

La industria de las telecomunicaciones encontró a finales de los años ochenta limitaciones prácticas a medida que el servicio de telefonía móvil se hacía más popular. Con el sistema empleado de celdas de la 1G, éstas con el tiempo fueron siendo progresivamente más pequeñas, resultando difícil y económicamente poco viable ubicar nuevas estaciones base en los emplazamientos que así lo requerían, siendo particularmente problemático en grandes ciudades con mucha densidad poblacional.

Se comienzan a apreciar las limitaciones de la red 1G por la saturación de interferencia en las celdas en las que se dividían. Otro aspecto importante a considerar en Europa, era la incompatibilidad entre los diferentes estándares utilizados, que hacía imposible el uso de un mismo teléfono móvil en diferentes países. Esta limitación motivó el desarrollo de un sistema celular de segunda generación en esta región con los objetivos básicos de conseguir una mayor capacidad y la compatibilidad entre los sistemas que operan en todos los países.

Normalmente este tipo de tecnología no podía transferir datos, como por ejemplo, correo electrónico o paquetes de software, sino que sólo estaba limitada para transferir llamadas de voz digital, y otros datos auxiliares básicos como la hora y la fecha. Sin embargo, la mensajería SMS también estaba disponible como una forma alternativa de transmisión de datos para algunos estándares. Las redes de telecomunicaciones celulares de tecnología 2G se lanzaron comercialmente con el estándar GSM en Finlandia por Radiolinja (ahora parte de Elisa Oyj) en 1991. Más de 2 mil millones utilizaron el servicio GSM a lo largo de más de 212 países.

La ubicuidad del estándar GSM hizo que el roaming internacional sea muy común entre los operadores de teléfonos móviles, lo que permitió a los suscriptores usar sus teléfonos en muchas partes del mundo.

5.1.1. Sistema GSM

La arquitectura del sistema GSM se compone de cuatro bloques o subsistemas que engloban el conjunto de elementos de la jerarquía del sistema. Cada uno de estos subsistemas desempeñan funciones específicas para, en su conjunto ofrecer el servicio de telefonía móvil al usuario final. Los 4 subsistemas son:

- **La estación móvil (MS):** Consta de dos partes, por lado el equipo móvil y por el otro la tarjeta de Módulo de Identidad del Suscriptor (SIM - *Subscriber Identity Module*). El SIM era una pequeña tarjeta inteligente que servía para identificar las características del equipo terminal. Esta tarjeta se insertaba en el interior del móvil y permitía al usuario acceder a todos los servicios que haya disponibles por su operador. Sin esta tarjeta, no era posible acceder a los recursos provistos por la red.
- **El subsistema de estación base (BSS) :** Servía para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción de datos. Constan de dos elementos diferenciados: La Base Transceiver Station (BTS) o Base Station y la Base Station Controller (BSC). La Estación Base del Transceptor (BTS - *Base Transceiver Station*) y el Controlador de la Estación Base (BSC *The Base Station Controller*).

La unidad BTS establecía los dispositivos para la transmisión y la recepción de radio, incluyendo las antenas. Realizaba las tareas de configuración de la señal que se iba a transmitir vía radio y de recuperación de la señal radio en recepción, además de realizar el tratamiento digital de la señal, codificación de canal, entrelazado, etc. Normalmente se ubica en el centro geográfico de la celda y la potencia máxima emitida determina el tamaño absoluto de la celda. Una estación base dispone entre uno y doce transceptores (TRX), donde cada uno de ellos opera sobre una de las frecuencias GSM asignadas al operador.

- **El subsistema de conmutación y de red (NSS) :** El Subsistema de Conmutación y Red (NSS - *Network and Switching Subsystem*). Era el encargado de administrar las comunicaciones que se realizaban entre los diferentes usuarios de la red; para poder realizarlo esto la NSS se dividía en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red.

1. Mobile Services Switching Center (MSC): Es el componente central del NSS y se encargaba de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.
2. Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): Un gateway es un dispositivo traductor (pudiendo ser un software o hardware) que se encargaba de interconectar dos redes permitiendo que los protocolos de comunicaciones en ambas redes se entiendan. Por lo que la tarea central era la servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM.
3. Home Location Register (HLR): El HLR era una base de datos que contenía información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC.

Entre la información que almacena el HLR se tenía fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tenía acceso.

4. Visitor Location Register (VLR): Contenía toda la información acerca de un usuario necesaria para que acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.
 5. Authentication Center (AuC): Proporcionaba los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encargaba de soportar funciones de encriptación.
 6. Equipment Identity Register (EIR): También se utilizaba para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contenía una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red.
 7. GSM Interworking Unit (GIWU): Servía como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.
- **El subsistema de operación y mantenimiento (MNS):** El MNS tiene varias tareas que realizar. Todas ellas requieren interacciones entre algunas o todas las máquinas de la infraestructura que se encuentra en el ra en el BSS ó en el ó en el NSS y los miembros de y los miembros de los equipos de servicio de las distintas compañías comerciales.

Las tecnologías 2G se pueden dividir en estándares basados en Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA - *Time Division Multiple Access*) y Acceso Múltiple por División de Código (CDMA - *Code Division Multiple Access*) según el tipo de multiplexación utilizada. 2G utiliza un Algoritmo de Compresión-Descompresión (CODEC - *Compression-Decompression Alogirithm*), para comprimir y multiplexar datos digitales de voz. A través de esta tecnología, una red 2G puede empaquetar más llamadas por cantidad de ancho de banda que una red 1G. Las unidades de teléfonos celulares 2G generalmente eran más pequeñas que las unidades 1G, ya que emitían menos potencia de radio.

Para los tres sistemas FDD/FDMA/TDMA se utiliza un ancho de banda diferente por canal. En GSM con 200 Khz por canal se multiplexan 8 comunicaciones en el tiempo, de forma que el ancho de banda equivalente por canal es de 25 Khz, semejante al ancho de banda utilizados en los sistemas de primera generación.

La mayoría de sistemas utilizan la técnica de acceso FDD/FDMA/TDMA. El duplexado se realiza en frecuencia, igual que los sistemas de primera generación; sin embargo, la multiplexación era únicamente en frecuencia (FDMA) al tratarse de sistemas analógicos. En los sistemas digitales el tiempo de ocupación de una frecuencia (FDMA) se reparte entre varias comunicaciones (TDMA).

Los sistemas de segunda generación se caracterizan por el multiplexado temporal que realizan sobre la portadora utilizada en la comunicación. No transmiten o reciben constantemente datos y pueden dedicar ciertos intervalos de tiempo a sintonizar las frecuencias guía de celdas vecinas. Gracias a esta característica, el mecanismo de toma de medidas realizado en las estaciones base vecinas se traslada a los terminales

móviles, esto supone una importante descarga computacional para la red. Sin embargo, la decisión de un traspaso de llamada sigue siendo de la red, por ello esta técnica de traspaso se denomina Entrega Móvil Asistida (MAHO - *Mobile Assisted Hand Over*).

Desde un punto de vista práctico, la toma de medidas por parte de los terminales móviles se considera una de las mejoras fundamentales de los sistemas de segunda generación respecto a los sistemas de primera.

También se logró un mayor control de potencia consiguiendo de esta manera que cada emisor transmita con la mínima potencia necesaria, logrando una reducción colectiva del nivel de interferencia, lo que lleva a un incremento de la capacidad del sistema global, al poder añadir más comunicaciones. Además, hay que mencionar el ahorro de energía que supone la utilización de este tipo de control, con el consiguiente incremento de vida de las baterías.

Algunos beneficios de la tecnología 2G fueron que las señales digitales requerían un consumo menor de batería, por lo que ayudaba a que duren mucho más en comparación con los teléfonos de 1G. La codificación digital mejoraba la claridad de la voz y reducía el ruido en la línea. También cabe destacar, que las señales digitales se consideran ecológicas en comparación con las señales analógicas. El uso de datos digitales ayudó a los operadores de redes móviles a introducir el servicio de mensajes cortos a través de los teléfonos celulares. El cifrado digital ha proporcionado seguridad en los datos y las llamadas de voz. El uso de la tecnología 2G requiere fuertes señales digitales para que los teléfonos móviles funcionen. Por lo que, si no hay cobertura de red en un área específica, las señales digitales se vuelven débiles.

Asimismo, uno de los aspectos más atractivos de las técnicas de transmisión digital fue su mejor comportamiento en entornos de elevada interferencia, que les proporcionaría, una capacidad superior a los sistemas analógicos. Por otro lado, la tecnología digital tenía la ventaja añadida de haberse situado en una senda de avances constantes en aspectos como la miniaturización e integración de dispositivos con unos costes de implementación decrecientes.

5.2. Tecnología 2.5G y GPRS

El acrónimo 2.5G, significa "segunda generación y media", la cual, es una tecnología inalámbrica celular desarrollada entre su predecesor, 2G, y su sucesor, 3G. El término "segunda generación y media" se utiliza para describir sistemas 2G que han implementado un dominio de conmutación de paquetes además del dominio de conmutación de circuitos.

Cabe destacar que "2.5G" fue un término informal, inventado únicamente con fines de comercialización, a diferencia de 2G o 3G, que fueron y son aún día, estándares oficiales, basados en los definidos y reglamentados por la Telecomunicación Internacional (UIT)

El denominado Servicio General de Paquetes Vía Radio (GPRS - *General Packet Radio Service*) podía proporcionar velocidades de datos desde los 56 kbit/s hasta los 115 kbit/s. Se podía utilizar para servicios como el acceso mediante el Protocolo de Aplicación Inalámbrica (WAP *Wireless Application Protocol*), el Servicio de Mensajería Multimedia (MMS *Multimedia Messaging Service*) y para servicios de comunicación de Internet como el correo electrónico y el acceso a la World Wide Web (WWW).

La transferencia de datos vía GPRS generalmente se cobraba por megabyte de tráfico transferido, mientras que la comunicación de datos a través de la Conmutación de Circuito tradicional se facturaba por minuto de tiempo de conexión, independientemente de si el usuario realmente estuviese utilizando la capacidad de la red o se encontrase en un estado inactivo. Las redes 2.5G también podían admitir servicios como Protocolo para Aplicaciones Inalámbricas (WAP - *Wireless Application Protocol*), Mensajería de Mensajes Multimedia (MMS - *Multimedia Messaging Service*), juegos móviles SMS y búsqueda de directorios.

La utilización de sistemas digitales tenía además la ventaja añadida de permitir nuevos servicios suplementarios y de valor añadido, como puede eran: el buzón de voz, los mensajes cortos, el correo electrónico o los servicios de gestión de las llamadas.

5.3. Tecnología 2.75G y EDGE

EDGE es una abreviatura para Velocidades de Datos Mejoradas para GSM Evolution (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), la cual, es una tecnología de telefonía móvil digital que actúa como una mejora de las redes de servicio general de paquetes (GPRS) 2G y 2.5G. Esta tecnología funcionaba en redes GSM. EDGE hacía como superconjunto de GPRS y podía funcionar en cualquier red con GPRS implementado en él, siempre que el operador implementase las actualizaciones necesarias.

La tecnología EDGE fue una versión extendida de GSM, permitiendo la transmisión clara y rápida de datos e información. También se denomina IMT-SC o Transporte único. La tecnología EDGE fue inventada e introducida por Cingular, que ahora se conoce como AT&T. EDGE fue una tecnología de radio y es parte de tecnologías de tercera generación. La tecnología EDGE se prefiere a GSM debido a su flexibilidad para transportar datos de Conmutación de Paquetes y datos de Conmutación de Circuitos.

El uso de la tecnología EDGE aumentó el uso de teléfonos móviles BlackBerry, N97 y N95. EDGE transfería datos en menos segundos si hacemos una comparativa con la tecnología GPRS. Por ejemplo, un archivo de texto típico de 40 KB se transfería en solo 2 segundos en comparación con la transferencia de la tecnología GPRS, que era de 6 segundos. La mayor ventaja de utilizar la tecnología EDGE fue que no era necesario instalar ningún hardware y software adicional para utilizarla, y lo mejor para el usuario era que no existían cargos adicionales por su utilización. Si una persona era un ex usuario de la tecnología GPRS, podía utilizar esta tecnología sin pagar ningún cargo adicional en su proveedor.

6. Tercera Generación (3G)

6.1. Tecnología 3G y 3.75G

3G es la tercera generación de tecnología y estándares de telefonía móvil, reemplazando a 2G y precediendo a 4G. Se basa en la familia de estándares de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) bajo el programa Internacional de Telecomunicaciones Móviles, IMT-2000. El principal objetivo de este tipo de tecnología fue ofrecer servicios de datos con una alta velocidad de transmisión.

Las tecnologías 3G permitían a los operadores de red, ofrecer a los usuarios una gama más amplia de servicios más avanzados al tiempo que lograban una mayor capacidad de red a través de una eficiencia espectral mejorada. Los servicios incluían telefonía de voz inalámbrica de área amplia, videollamadas y datos inalámbricos de banda ancha, todo en un entorno móvil. Las características adicionales también incluían capacidades de transmisión de datos HSPA capaces de entregar velocidades de hasta 14.4Mbit/s en el enlace descendente y 5.8Mbit/s en el enlace ascendente. La Eficiencia Espectral se refiere a la cantidad de información que se puede transmitir a través de un ancho de banda dado en un sistema de comunicación digital específico. Acceso a Paquetes de Alta Velocidad (HSPA - *High-Speed Packet Access*) es una colección de protocolos de telefonía móvil que extiende y mejora el rendimiento de los protocolos UMTS existentes.

La particularidad que traía aparejada esta tecnología fue que la emisión y la recepción de datos se efectuaba a través de la tecnología de Conmutación de Paquetes o *Packet Switching* y dos datos por los cuales se transfería la voz se realizaba mediante Conmutación de Circuitos.

A diferencia de las redes IEEE 802.11 (nombres comunes para designar a los protocolos Wi-Fi o WLAN), las redes 3G son redes de telefonía celular de Área Amplia que evolucionaron para incorporar acceso a Internet de alta velocidad y telefonía de video. Las redes IEEE 802.11 son redes de corto alcance y gran ancho de banda desarrolladas principalmente para datos. Wi-Fi es el nombre común para una tecnología inalámbrica popular utilizada en redes domésticas, teléfonos móviles, videojuegos y más. El dispositivo se encuentra conectado al Punto de Acceso inalámbrico mediante una tarjeta inalámbrica de PC. De esta forma, el teléfono es capaz de transmitir de forma bidireccional (es decir, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea) audio y video.

Las tecnologías 3G hacen uso de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y CDMA (Acceso Múltiple por División de Código). También hacen uso de servicios de valor agregado como puede ser: televisión móvil, Sistema de Posicionamiento Global (GPS - *Global Positioning System*) y videoconferencia. La característica básica de la tecnología 3G son las rápidas tasas de transferencia de datos.

La tecnología 3G es mucho más flexible, ya que es capaz de soportar las cinco principales tecnologías de radio. Estas tecnologías de radio operan bajo CDMA, TDMA y FDMA.

- **CDMA (Acceso Múltiple por División de Código):** es válido para IMT-DS (Difusión Directa), IMT-MC (Multiportadora).
- **TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo):** representa IMT-TC (Código de Tiempo), IMT-SC (Operador Único).
- **FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia):** tiene solo una interfaz de radio conocida como IMT-FC o Código de Frecuencia.

La tecnología de tercera generación es practicable debido al acuerdo entre las distintas industrias. Este acuerdo tomó ritmo para aumentar su adopción por parte de los

usuarios. El sistema 3G es compatible para trabajar con las tecnologías 2G. El objetivo del 3G es permitir una mayor cobertura y crecimiento con un mínimo de inversores.

Hay muchas tecnologías 3G como W-CDMA, GSM EDGE, UMTS, DECT, WiMax y CDMA 2000. Las velocidades de datos mejoradas para la GSM Evolution o EDGE se denominan tecnología digital hacia atrás, ya que pueden funcionar con dispositivos más antiguos.

3G tiene las siguientes mejoras sobre 2.5G y redes anteriores:

- Transmisión de audio y video mejorada;
- Varias veces mayor velocidad de datos;
- Soporte de videoconferencia;
- Navegación Web y WAP a velocidades más altas;
- Soporte de IPTV (TV a través de Internet).

6.2. Tecnología 3.5G y HSDPA

El Acceso de Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad (HSDPA - *High-Speed Downlink Packet Access*) es un protocolo de telefonía móvil (también llamado 3.5G), que proporciona una ruta evolutiva suave para redes 3G basadas en el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS - *Universal Mobile Telecommunications System*) que permiten velocidades de transferencia de datos más altas.

HSDPA es un servicio de datos basado en paquetes en enlace descendente WCDMA con transmisión de datos de hasta 8-10 Mbit/s (y 20 Mbit/s para sistemas MIMO) sobre un ancho de banda de 5MHz en el enlace descendente WCDMA. Las implementaciones de HSDPA incluyen modulación y codificación adaptativa (AMC), múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO), solicitud automática híbrida (HARQ), búsqueda rápida de celdas y diseño avanzado de receptores.

6.3. Tecnología 3.75G y HSUPA

La sigla 3.75G se refiere a las tecnologías que están más allá de las tecnologías inalámbricas o móviles 3G. El Acceso de Paquetes de Enlace Ascendente de Alta Velocidad (HSUPA - *High Speed Uplink Packet Access*) es una tecnología de evolución de enlace ascendente UMTS/WCDMA. La tecnología de telecomunicaciones móviles HSUPA está directamente relacionada con HSDPA y los dos son complementarias entre sí.

HSUPA mejora las aplicaciones avanzadas de datos de Persona a Persona con velocidades de datos más altas y simétricas, como puede llegar a ser el Correo Electrónico Móvil y los Juegos de persona a persona en tiempo real. Las aplicaciones comerciales tradicionales junto con muchas aplicaciones de consumo se beneficiaron de la velocidad mejorada del enlace ascendente. HSUPA impulsó inicialmente el enlace ascendente UMTS/WCDMA hasta 1.4Mbps y en versiones posteriores hasta 5.8Mbps.

7. Cuarta Generación

4G se refiere a la Cuarta Generación de Estándares Inalámbricos para telefonía celular. Es el sucesor de las familias de estándares 3G y 2G. La nomenclatura de las generaciones generalmente se refiere a un cambio en la naturaleza fundamental del servicio, cuya tecnología de transmisión termina no siendo compatible tanto con versiones anteriores, como tampoco con las nuevas bandas de frecuencia. Recordemos que el primer salto fue el cambio de la transmisión analógica (1G) a la digital (2G) de 1981 en 1992. Esto fue seguido, en 2002, por el soporte multimedia 3G, la transmisión de espectro expandido y al menos 200 kbit/s, y luego la 4G que se refiere a redes con conmutación de paquetes totalmente bajo IP, acceso móvil de banda ultra ancha (velocidad de gigabits) y transmisión multiportadora. Las tecnologías previas a 4G, como WiMAX móvil y la Evolución a Largo Plazo 3G (LTE) de primer lanzamiento, han estado disponibles en el mercado desde 2006 y 2009, respectivamente.

Básicamente es la extensión de la tecnología 3G con más ancho de banda y ofertas de servicios. El objetivo de la tecnología 4G fue la transmisión de audio/video de alta calidad a través del Protocolo de Internet de extremo a extremo. Con estas implementaciones mediante las comunicaciones basadas en Internet, WiMAX y el diseño estructural de la telefonía móvil se volvió progresivamente más transparente y, por lo tanto, la aceptación de varias arquitecturas por parte de un operador de red en particular fue cada vez más común. Se desecha la Conmutación de Circuitos, y permitiendo sólo para la transmisión de datos la Conmutación de Paquetes. Este cambio impactó de forma directa a los consumidores de este tipo de servicios, dado que la facturación se basaba en la cantidad de datos que se consumían.

La tecnología 4G utiliza para la multiplexación de datos, la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM - *orthogonal frequency division multiplexing*) donde cada onda portadora de diferentes frecuencias, transporta información siendo modulada en QAM o en PSK. Usualmente se utiliza la multiplexación OFDM luego que la señal haya sido pasada por un codificador de canal con el objetivo de corregir los posibles errores ocurridos en la transmisión.

La primera red inalámbrica comercial bajo esta tecnología se lanzó públicamente alrededor del 2010. Sprint Nextel lanzó WiMAX a través de redes móviles de banda ancha de 4G en Estados Unidos. Algunos de los otros países desarrollados, como Reino Unido, declararon un plan para vender a través de una subasta de frecuencias inalámbricas 4G en 2007. La palabra "MAGIA" también se refiere a la tecnología inalámbrica 4G que significa multimedia móvil, en cualquier lugar, soluciones de movilidad global, inalámbrica integrada y servicios personalizados.

En Argentina, la primera empresa que proveyó la tecnología 4G y sus servicios fue Movistar, realizándolo en diciembre del año 2014.

Algunas de las prestaciones que tiene este tipo de tecnología son:

- Televisión móvil en alta definición.
- Juegos Online Multijugador.
- Se posibilitaba mediante esta tecnología el advenimiento del Cloud Computing.
- Abundante Ancho de Banda, aproximadamente unos 300mb/s

8. Quinta Generación (5G)

8.1. Descripción General

5G son las siglas que representan a la quinta y última generación, hasta el momento, de tecnologías de telefonía móvil. El objetivo principal de esta nueva red se enfoca en el aumento de la velocidad de navegación, pretendiendo alcanzar 10000 Mbps en lo que respecta a conexión y una latencia (tiempo de respuesta de la web) que no supere los 4 ms (milisegundos). Estas características de la red 5G permiten que cada dispositivo se encuentre conectado prácticamente en tiempo real y no solo en lo que se refiere a la telefonía móvil, sino que además posibilita una interconexión digital de objetos cotidianos mediante internet, en lo que se conoce como la Internet de las Cosas (IoT - *Internet of Things*). Si bien esta nueva tecnología presenta una importante mejora de rendimiento en comparativa con su predecesora 4.5G (la cual puede alcanzar sólo velocidades de 1000 Mbps), es justamente su uso en el IoT de manera masiva lo que destaca en ella particularmente.

Las redes 5G serán diseñadas para obtener el rendimiento necesario para la implementación del IoT masivo, lo que se prevé que tendrá un crecimiento exponencial en la cantidad de dispositivos que intercambiarán información entre sí.

8.2. Características

El 14 de junio del año 2018 las empresas que conforman el Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3PP - *3rd Generation Partnership Project*), la cual es una organización internacional que rige los estándares de Comunicación Móvil, apoyaron el desarrollo tanto del primer standard, como las especificaciones finales para redes 5G, por lo que, a partir de esta estandarización, la industria se pudo basar en reglas oficiales para la fabricación de chips, smartphones, antenas y hardware en general, que sean compatibles con la tecnología 5G. Esta nueva red será independiente y no se apoyará en redes 3G y 4G, por lo que permitirá nuevas implementaciones en zonas y regiones donde no hay infraestructura, es decir, redes que se construirán desde cero y que implementarán esta nueva tecnología desde un inicio.

La tecnología 5G es impulsada por ocho requisitos:

- Velocidad de datos de hasta 10000 Mbps.
- 99.999 % de disponibilidad.
- Latencia de hasta 4 ms.
- 100 % de cobertura.
- 90 % de reducción del uso de energía de la red.
- Hasta 10 años de vida útil de la batería para un dispositivo del IoT de baja potencia.
- Hasta 100 dispositivos más conectados por unidad de área (en comparativa con las redes 4G).

- Una banda ancha 1000 veces más rápida por unidad de área (en comparación con su predecesora).

El desarrollo de las redes 5G, a la vez que se mantienen operativas las redes 3G y 4G, dan lugar a un nuevo desafío para los operadores de redes móviles con respecto a la capacidad de las frecuencias en el espectro (principalmente ante el aumento del volumen del IoT). Los operadores tendrán que actuar en un nuevo espectro cuyo rango va desde los 6 a 300 GHz, lo que implica inversiones masivas en la infraestructura de la red. Asimismo, para alcanzar una latencia de hasta 1 ms se requiere que la conectividad para la estación base utilice fibras ópticas.

Dado que la tecnología inalámbrica Wi-Fi forma parte de una red de área local, se ve limitada tanto en velocidad como en latencia para responder a las exigencias del IoT en estos aspectos, motivo por el cual se espera que la tecnología 5G sea quien construya un ecosistema del Internet de las Cosas. Esta nueva red también será la responsable que los vehículos autónomos tengan éxito, ya que brinda lo que requieren para su correcto funcionamiento: velocidad en tiempo real y baja latencia.

9. Conclusiones

A lo largo de este repaso por las distintas tecnologías de redes móviles, se pueden sacar algunas impresiones sobre la evolución y el impacto que tuvieron, a saber:

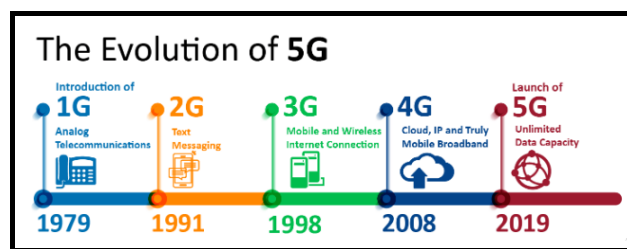
- La tecnología denominada como 0G, quien fue la precursora en el área de las comunicaciones móviles, permitió el comienzo de la exploración hacia nuevos horizontes comerciales para la obsoleta tecnología militar que había dejado la Segunda Guerra Mundial. Esta nueva ciencia, comenzó siendo útil principalmente para aquellos que requerían coordinar eventos circunstanciales de una manera rápida y precisa, como por ejemplo: grandes agentes de bolsa, organizaciones dedicadas a la logística comercial, empresas abocadas a la construcción y urbanización, etc.
- La tecnología 1G permitió el acceso masivo a estos dispositivos de comunicación que eran de uso exclusivo para las comunicaciones de voz. Estos dispositivos contaban con números telefónicos completamente comerciales, por lo que se podían cruzar llamadas provenientes de distintos canales (como por ejemplo los hogareños) con canales particulares de esta tecnología. Es decir, que su uso ya no fue exclusivo para un estrato social de gran poder adquisitivo, sino que de alguna manera se fue democratizando. Cabe resaltar que los primeros aparatos que proveían esta tecnología eran bastante pesados, con poca autonomía de energía y su rango de cobertura no era muy amplio, lo que repercutía en la calidad de la comunicación.
- El cambio fundamental que se obtiene con la tecnología 2G es la posibilidad (mínima y reducida aún) de navegar por Internet. El ancho de banda con esta tecnología es muy reducido, aunque las aplicaciones están básicamente ideadas para ejecutar intercambios de datos de poco rendimiento, como por ejemplo,

consultar mails o navegar en páginas cuyo contenido no se apoyaba en contenido multimedia.

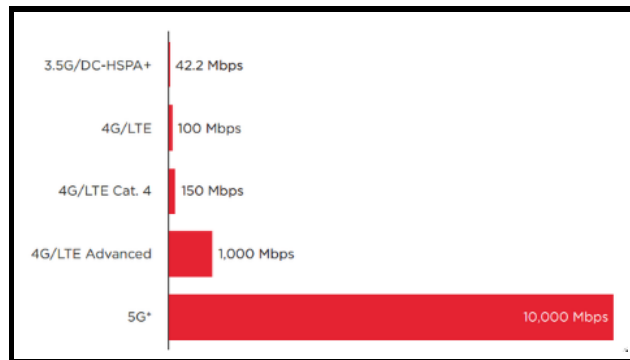
Pero si mejoran las aplicaciones que utilizan los mensajes de voz y de texto, lo que genera una mayor dinámica en las comunicaciones cotidianas masivas.

- Las redes 3G proporcionaron una mejor experiencia en lo que respecta a Internet móvil, aunque su éxito se vio limitado debido a la adopción masiva de los servicios de datos, siendo las redes posteriores, es decir la 3.5G, quienes generaron el amplio ecosistema de las aplicaciones móviles. Los dispositivos se volvieron más inteligentes, lo que redundaba en mejoras en la calidad de navegación. Por primera vez la calidad de los servicios ofrecidos por las operadoras se volvía mucho más variada y compleja, empleando aplicaciones específicas para una mejor interacción con el contenido multimedia.
- Las redes 4G trajeron los servicios denominados como *all-IP* (voz y dato). Se aumenta el ancho de banda bajo Internet (produciendo tanto una arquitectura más compleja como una unificación de los protocolos de redes), pero con mayor calidad, por lo que la interacción multimedia se vuelve aún más vívida, donde por ejemplo los videos se visualizan en Alta Definición (HD - *High Definition*) y las aplicaciones de atañeño como ser de telefonía de voz y mensajes SMS se vuelven más limitadas. Se da inicio a la Computación en la nube (*Cloud Computing*).
- Las redes 5G expanden los servicios inalámbricos de banda ancha a la naciente Internet de las Cosas (IoT) y a segmentos de comunicaciones críticas. La tecnología 5G modifica nuevamente el ancho de banda, pero con el fin de utilizar esta mejora en pos de las aplicaciones de tiempo real. Las mejoras entre 4G y 5G para el usuario final, no se perciben como tal, pero si permite el aumento de respuestas en lo que respecta a los nuevos dispositivos inteligentes, como ser autos autónomos, drones, o la domótica en general.

Para mayor comprensión, se puede visualizar la evolución de las tecnologías móviles y las implementaciones que trajeron aparejadas en el siguiente gráfico:



En el siguiente gráfico también se puede observar la evolución de la capacidad de transmisión de datos para cada generación:



10. Resumen sobre OFDM

La Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal es un método de modulación donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en n subcanales, y en donde cada canal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia. Para evitar el uso de varios filtros y moduladores tanto en el transmisor como en el receptor, lo que se emplea es lo que se denomina Transformada Rápida de Fourier.

Para la obtención de los símbolos de cada canal (y asegurarse que cada canal no interfiera entre sí), se hace uso de las frecuencias ortogonales. ¿Qué significa *ortogonal*? Basándonos en Matemáticas, podemos decir que son aquellos ángulos que forman 90 grados con su referencia y cuyo Producto Escalar será cero. Para obtener cada símbolo (o código) se emplea el principio de la Matriz de Hadamard.

Con la obtención de cada símbolo, se asegura que cada una de las frecuencias en las que se transmitirán los bits de información durante determinado tiempo asociado a un símbolo, serán mutuamente excluyentes, por lo que en el lado del receptor, se podrá reconverir la información de una forma inequívoca, sin yuxtaposición entre señales.[4]

11. Herramientas

11.1. Materiales utilizados para el presente trabajo

Para la resolución del presente Laboratorio se utilizaron las siguientes herramientas:

1. Arch Linux V5.1.11
2. Para la composición del presente Informe se utilizó el paquete *texlive-latexextra* 2018.50031-1

Bibliografia

- [1] Mudit Ratana Bhalla y Anand Vardhan Bhalla. "Generations of Mobile Wireless Technology: A Survey". En: *International Journal of Computer Applications* Volumen 5 - No.4 (2010), pág. 7.
- [2] Behrouz A. Forouzan. *Data Communication and Networking*. McGraw Hill, 2013.
- [3] James F. Kurose y Keith W. Ross. *Computer Networking: a Top Down Approach*. Pearson, 2017.
- [4] Carlos Suarez. "Modulacion Multiportadora OFDM". En: *Dialnet - Ingenieria* Volumen 6 No.2 (2001), págs. 30-34.