

## Capítulo 4: La telefonía móvil

### 4.1 Historia de la telefonía móvil

La telefonía móvil se forma básicamente por dos elementos: la red de comunicaciones y las terminales. En su versión análoga, fue presentada por primera vez en los Estados Unidos en 1946. En ese año el servicio se brindaba en 25 grandes ciudades y cada ciudad tenía una estación base que consistía en un transmisor de alta potencia y un receptor colocados en lo alto de una montaña o torre. Este servicio tenía una cobertura de aproximadamente 30 millas a la redonda. A este primer estándar de telefonía móvil se le conoció como *MTS (Mobile Telephone System)*, y funcionaba con una comunicación de tipo *half-duplex*. Tiempo después, a principio de los 50 la *FCC* duplicó el número de canales destinados a la telefonía móvil, reduciéndolos de 120kHz a 60kHz, con lo que se logró una comunicación *full-duplex*. Esto último fue la gran ventaja de *IMTS (Improved Mobile Telephone System)* en comparación con su antecesor [14, 15].

En 1960 *AT&T* presentó la marcación directa. Es necesario mencionar que antes una operadora era la que enlazaba las llamadas y que esto representó un gran avance. Tiempo después, la misma compañía propuso el concepto celular a la *FCC*. A mediados de los 70 este concepto fue desarrollado en conjunto con minicircuitos integrados capaces de manejar los complejos algoritmos necesarios para la conmutación y el control de los canales de comunicación. El ancho de banda se redujo de nuevamente de 60kHz a 30kHz [14, 15].

En 1974 la *FCC* destinó 40MHz extras del espectro para la telefonía móvil. Un año después la *FCC* otorgó a *AT&T* la primera licencia para operar una telefonía celular en desarrollo en la ciudad de Chicago. Al otro año, fue *ARTS (American Radio Telephone Service)* la que recibió autorización para operar en Baltimore [14, 15].

Sin embargo, fue hasta 1983 cuando la telefonía celular comenzó a crecer exponencialmente. Ese año *AMPS (Advanced Mobile Phone System)* se convirtió en el primer estándar de telefonía celular. Este estándar originalmente ocupaba 40MHz de ancho de banda en la banda de los 800MHz, pero en 1989 se le otorgaron 166 canales *half-duplex*

adicionales. Fue en este año que la telefonía celular incursionó en México por medio de dos empresas: Iusacell y Telcel [14, 15].

En 1991 se comenzaron a brindar los primeros servicios digitales en la mayor parte de los Estados Unidos, logrando usar el espectro de una manera más eficiente. La mayor ventaja de los servicios digitales consistió en la comprensión de voz, lo que dejó espacio en el ancho de banda asignado para nuevas aplicaciones [14].

En ese momento de la historia de la telefonía móvil se formaron dos caminos. La diferencia entre éstos radicaba en la técnica de acceso múltiple empleada, fuera *TDMA* (*Time Division Multiple Access*) o *CDMA* (*Code Divison Multiple Access*). En comparación con la técnica empleada por *AMPS* u otros estándares de primera generación, *FDMA* (*Frequency Division Multiple Access*), las dos ofrecían grandes ventajas. Por ejemplo, la capacidad especificada en *USDC* (*U.S. Digital Cellular*) o IS-54 equivale a tres veces la capacidad de *AMPS* [14].

En esta segunda generación de telefonía móvil surgieron diferentes estándares, entre los que destacan: IS-54, IS-95, *GSM*, *iDEN* y *PDC*. Con el tiempo fue *GSM* el que logró mayor aceptación a nivel mundial, a pesar de que en sus inicios se concentró en el continente Europeo. La mayoría de estos estándares evolucionaron en un paso intermedio conocido como 2.5G [14].

2.5G es utilizado para denominar a los estándares que implementaron conmutación de paquetes en sus redes en conjunto con la conmutación de circuitos. Mientras que los términos 2G y 3G son reconocidos oficialmente, 2.5G no lo es. Este término fue inventado simplemente con fines publicitarios y de ventas [14, 15].

Un ejemplo de lo que es considerado un servicio de 2.5G es *GPRS* (*General Packet Switching Service*) implementado en las redes *GSM*. *GPRS* emplea conmutación de paquetes para la comunicación de datos, y es por esto que se dice que 2.5G ofrece algunos servicios de 3G. Otro caso particular de las redes *GSM* como ejemplo de proveedora de

servicios similares a los de 3G es *EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)*, el cual es una tecnología que permite aumentar la tasa de transmisión de datos y su confiabilidad hasta 236.8 kbit/s [14].

En los primeros años de esta década la telefonía móvil evolucionó hacia otra generación, 3G. Esta tercera generación ofrece servicios de videoconferencia e Internet de alta velocidad. A diferencia de 2.5G, 3G no consiste en mejoras a las redes 2G y no opera en el mismo espectro de frecuencia. Es por eso necesario construir nuevas redes y adquirir nuevas concesiones de frecuencias. El primer país que ofreció 3G fue Japón. En 2005, 40% de los suscriptores emplean solamente redes de tercera generación. Es así que en 2006 la transición entre generaciones se completó. Incluso ya se habla de mejoras bajo el nombre de 3.5G. Estas mejoras incrementarían la máxima velocidad de 2Mbit/s a 3Mbit/s [14].

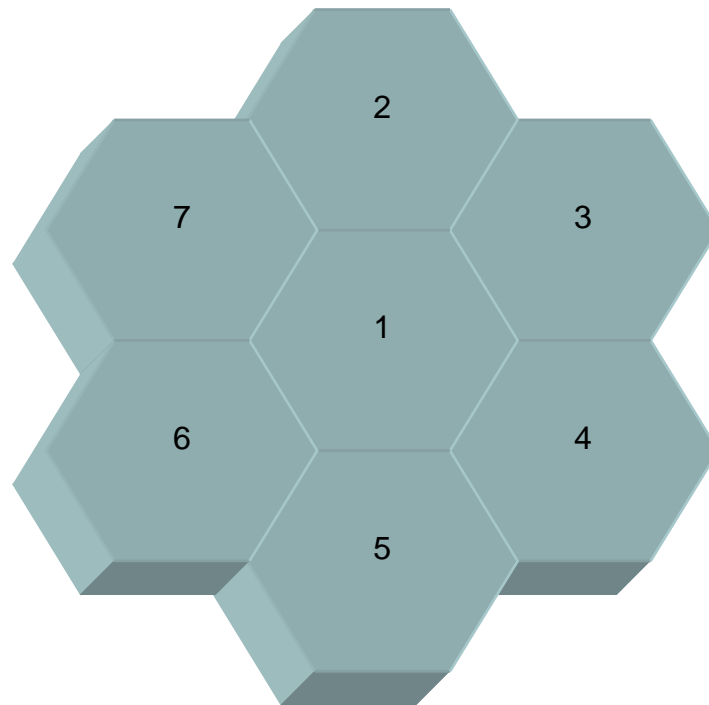
## **4.2 Concepto Celular**

Cuando la telefonía móvil dejó de tener una sola estación base por red para migrar a la telefonía celular se corrigieron muchos problemas. Las claves de este concepto fueron develadas en 1947 por investigadores de los laboratorios *Bell* y otras compañías de telecomunicaciones alrededor del mundo. Se determinó que si se subdividía un área geográfica relativamente grande, llamada zona de cobertura, en secciones más pequeñas, llamadas células, el concepto de reuso de frecuencias podría ser empleado para incrementar considerablemente la capacidad del canal [15].

### **4.2.1 Célula**

Una célula es una zona geográfica de cobertura proporcionada por una estación base. Idealmente se representa por un hexágono que se une con otros para formar un patrón tipo enjambre. La forma hexagonal fue elegida porque provee la transmisión más efectiva al aproximarla con una forma circular y permite unirse a otras sin dejar huecos, lo cual no hubiera sido posible al elegir un círculo. Una célula se define por su tamaño físico, pero más importantemente por la cantidad de tráfico y población que existe en ella. El número de células por sistema no está especificado y depende del proveedor del servicio y de los patrones de tráfico que observe en su red. El tamaño de la célula varía dependiendo de la

densidad de usuarios. Por ejemplo, en una zona rural se coloca una macrocélula. Este tipo de célula tiene una cobertura de entre 1 y 15 millas a la redonda con una potencia que varía de 1 a 20 watts. Por el contrario, las microcélulas radian de 1 a varios cientos de pies con potencias de 0.1 a 1 watt. Este tipo de células son frecuentemente usadas en ciudades.



**Figura 4.1** Células de la telefonía móvil

En la Figura 4.1 se puede observar la forma ideal de las células y como están colocadas adyacentemente. Sin embargo, la forma real de las células no tiene forma. Esto se debe a los obstáculos que encuentra la señal en el camino, lo que depende de cada zona. Las células ideales se emplean para planificar y dimensionar un sistema considerando un nivel de potencia idéntico para toda el área de cobertura. Esta planificación se vuelve más precisa al emplear herramientas de cómputo que consideran la estructura de la ciudad con edificios, parques, etc. Un concepto importante al hablar de células es el de *hand-off* o *hand-over*. Este proceso ocurre cuando el usuario cambia de una célula a otra y el móvil obtiene un canal sin perder la comunicación. Para saber cuando debe ocurrir el *hand-off* se define un umbral de potencia que generalmente es de -95dBm. Al momento de registrar una señal a esta potencia el móvil busca otra señal con mejor potencia en la célula a la que está entrando [14, 15].

### 4.2.2 Reuso de frecuencias

Básicamente el reuso de frecuencias permite que un gran número de usuarios puedan compartir un número limitado de canales disponibles en la región. Esto se logra asignando el mismo grupo de frecuencias a más de una célula. La condición para que esto se pueda hacer es la distancia entre ellas, de no hacerlo la interferencia sería alta. A cada estación base se le asigna un grupo de canales que son diferentes de los de las células vecinas, y las antenas de las estaciones base son elegidas para lograr un patrón de cobertura dentro de la célula por medio de la modificación de parámetros como ganancia y directividad [15].

Cuando se diseña un sistema usando células hexagonales, los transmisores de la estación base se colocan en el centro de la célula (*center-excited cells*) o en tres de los seis vértices (*corner-excited cells*). Normalmente se usan antenas omnidireccionales para el primer caso y antenas sectorizadas para el segundo. Esta sectorización es una forma de subdividir la célula y lograr mayor capacidad. Comúnmente esta división se hace en 3 sectores. Al hacer esto no todo son ventajas. Entre las principales desventajas destacan el aumento de equipo de propagación en la estación base, el cambio constante de canales en la unidad móvil y la disminución en truncamiento por la división de canales dentro de la célula. Aún así es muy común sectorizar la célula, sobretodo en lugares donde la densidad de población es alta [14].

El concepto de reuso de frecuencias puede representarse matemáticamente considerando un sistema con cierto número de canales disponibles.

$$F = GN \text{ Ecuación 4.1}$$

donde  $F$  es el número de canales *full-duplex* disponibles en un cluster,  $G$  es el número de canales en una célula y  $N$  el número de canales en el *cluster* o factor de reuso de frecuencia. Se denomina *cluster* a las células que colectivamente usan un conjunto de canales disponibles. Es necesario decir que no es posible darle cualquier valor a  $N$  por la geometría de las células. Algunos valores posibles son 3, 4, 7, 12, 13, 19 y 27. Los más comunes son el 3 y el 7 [14].

Cuando un cluster es multiplicado  $m$  veces dentro de un sistema, el número total de canales *full-duplex* puede expresarse como:

$$C = mGN \quad \text{Ecuación 4.2}$$

donde  $C$  representa la capacidad del canal y  $m$  el número de clusters. Se puede apreciar que la capacidad del canal es directamente proporcional al número de veces que un *cluster* es multiplicado [14].

### 4.3 GSM (*Global System for Mobile Communications*)

El servicio de *GSM* empezó en 1991 y en 1993 operaba en 22 países. Actualmente se tienen este tipo de redes en más de 80 países. *GSM* es un sistema de telefonía celular perteneciente a la segunda generación que se desarrolló para solucionar los problemas de compatibilidad existentes en la primera generación, sobretodo en Europa donde se creó el estándar. Fue el primer sistema completamente digital y con casi 50 millones de usuarios en el mundo se ha convertido en el estándar más popular [14, 15].

#### 4.3.1. Servicios y arquitectura

Los servicios de *GSM* se clasifican en tres tipos: *bearer services*, teleservicios y servicios suplementarios. Los primeros ofrecen la capacidad de transmitir señales entre puntos de acceso, los segundos permiten comunicarse con otros suscriptores y los últimos complementan los teleservicios [15].

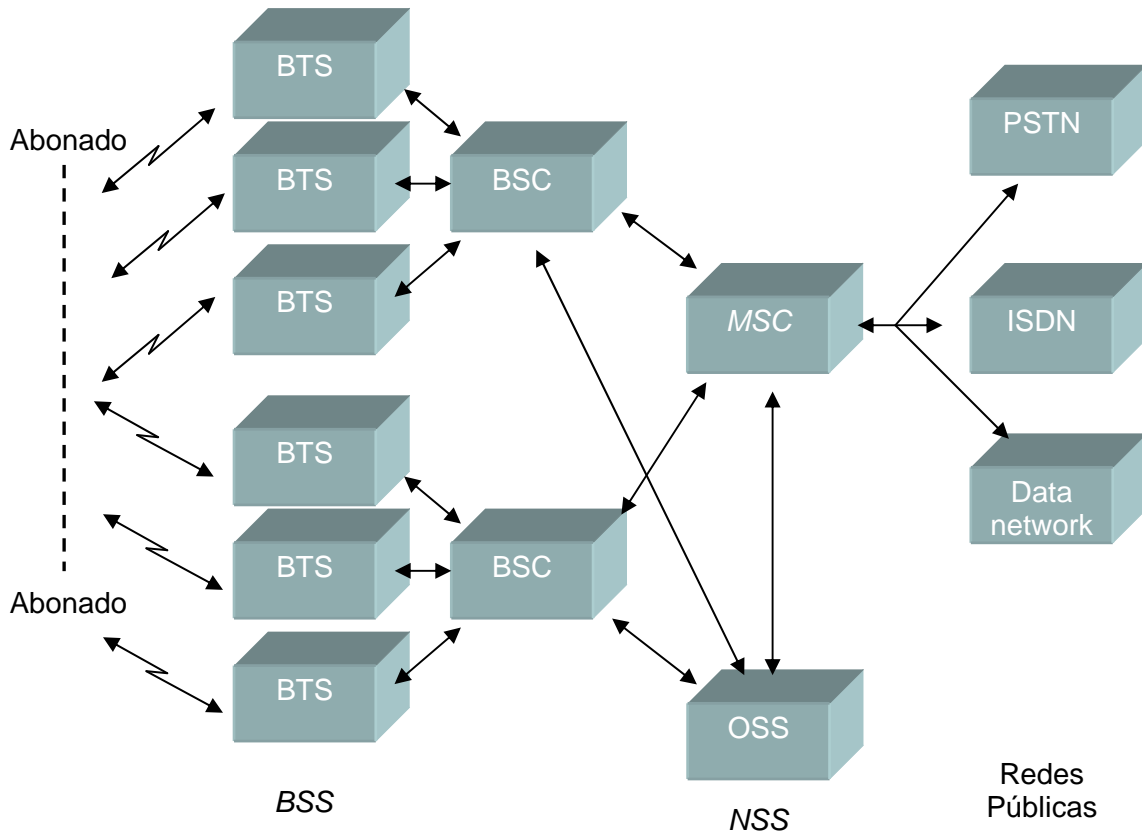
La arquitectura de una red *GSM* se muestra en la Figura 4.2. Consiste de tres subsistemas conectados entre si y con los abonados. Estos sistemas son:

- *BSS (Base Station Subsystem)*
- *NSS (Network and Switching Subsystem)*
- *OSS (Operational Support Subsystem)*

El *BSS* a veces se conoce como subsistema de radio porque provee y maneja las rutas de transmisión de radiofrecuencia entre las unidades móviles y el *MSC* (*Mobile Switching Center*). El *BSS* también maneja la interfaz de radio entre las estaciones móviles y los otros subsistemas. Cada *BSS* consiste de varios *BSC* (*Base Station Controllers*) que son usados para conectar la estación móvil o *BTS* (*Base Transceiver Station*) con el *NSS* a través de uno o varios *MSC* (*Mobile Switching Center*). El *NSS* maneja las funciones de conmutación y permite al *MSC* comunicarse con otras redes. El *OSS* apoya la operación y mantenimiento del sistema. Permite monitorear, diagnosticar y resolver problemas dentro de la red *GSM* [15].

*GSM* fue originalmente diseñada para 200 canales *full-duplex* por célula con frecuencias de transmisión en la banda de 900MHz. Sin embargo, tiempo después se asignaron frecuencias en la banda de 1800MHz. Un segundo sistema, llamado *DSC 1800* (*Digital Cellular System 1800*) fue establecido con las mismas características que tiene *GSM*. De igual manera, *PCS 1900* (*Personal Communication Services 1900*) se deriva de *GSM* y es utilizado ampliamente en Norteamérica. Estos tres sistemas admiten el uso de un módulo de identidad de suscriptor conocido como *SIM* (*Subscriber Identity Module*), lo que permite que un usuario pueda acceder a los servicios sin tener siempre la misma unidad móvil y en cualquier parte del mundo donde exista una red *GSM* [14].

En México, *GSM* trabaja de 1850MHz a 1910MHz para el enlace de móvil a estación base o *uplink* y de 1930MHz a 1990MHz para el enlace de estación base a móvil o *downlink* [20]. *GSM* emplea una combinación de *FDMA* y *TDMA* como técnica de acceso múltiple para proveer a las estaciones base acceso simultáneo a varias unidades móviles. Las bandas disponibles se dividen en canales de 200kHz y éstos son compartidos por 8 usuarios. Cada usuario ocupa una ranura tiempo por medio de *TDMA*. La tasa de transmisión en ambas direcciones es de 270.833kps para todo el canal y de 33.833kbps para cada usuario, esto se logra por medio de modulación *GMSK* (*Gaussian minimum shift keying*) [14].



**Figura 4.2** Arquitectura GSM, donde *BTS = Base Transceiver Station*, *BSC = Base Station Controller*, *MSC = Mobile Switching Center*, *OSS = Operational Support Subsystem*, *PSTN = Public Switched Telephony Network*, *ISDN = Integrated Services Digital Network*, *BSS = Base Station Subsystem*, *NSS = Network and Switching Subsystem*

### 4.3.2 Salto en frecuencia

En la propagación de radio frecuencia el canal presenta desvanecimiento de frecuencia selectiva. Esto quiere decir que las condiciones o características para la transmisión varían dependiendo de la frecuencia individual que se maneje. Así mismo, la propagación de la señal es multirruta. Esto ocasiona efectos indeseables en la comunicación. Como alternativa para solucionar estos dos problemas, GSM utiliza salto de frecuencia. Existen dos tipos de salto de frecuencia. *FFH (Fast Frequency Hopping)* y *SFH (Slow Frequency Hopping)* [6]. La diferencia radica en el número de bits de datos que “saltan”. Cuando el salto es rápido, *FFH*, existen muchos cambios de frecuencia pero se encuentran involucrados pocos bits de



datos. En cambio, en *SFH* es mayor la cantidad de datos pero los cambios de frecuencia no son tan numerosos.

*GSM* emplea *SFH* para:

- Protegerse ante ataques electrónicos
- Reducir los efectos de la propagación multiruta, lo que aumenta la calidad de la señal
- Lograr diversidad de frecuencia
- Optimizar el uso del espectro

La diversidad de frecuencia significa que manda la información usando diferentes frecuencias, con lo que se incrementa la probabilidad de que los datos lleguen al destino. La tasa de saltos es de 216.7 por segundo. Este valor equivale a la duración de una trama o *frame*. Es así que el móvil transmite a una frecuencia durante una ranura de tiempo y a otra frecuencia distinta durante la siguiente ranura de tiempo.