

## **ANEXO 3.8**

### **Justificación Tecnológica de la Empresa Eficiente (Público)**

# Justificación Tecnológica de la Empresa Eficiente

## 1. Perspectiva Histórica Tecnológica

La telefonía móvil comenzó a ser usada en 1921 en EE.UU. siendo su primera aplicación en el Departamento de Policía de Detroit, que utilizó un sistema con una frecuencia cercana a los 2 MHz.

En 1940 la FCC autorizó nuevas frecuencias de uso en la banda de 30 a 40 MHz. Sin embargo, hasta que no se introdujo la modulación en frecuencia para mejorar la recepción en presencia de ruido, su uso no se extendió.

El primer sistema de telefonía móvil comercial se estableció en EE.UU en 1946 en St. Louis, en la banda de frecuencias de 150 MHz con 6 canales de 60 KHz. En 1947 se estableció un sistema móvil público en la carretera entre Nueva York y Boston que operó en el intervalo de frecuencias de 35 a 40 MHz.

Hasta 1964 el sistema operaba en forma manual, esto es, un operador manejaba cada llamada desde y hacia una unidad móvil. En ese año se introdujo el sistema selector de canales automático que permitió a los usuarios discar directamente una llamada. Se asignó la banda de frecuencias de 450 MHz para este sistema de llamadas automáticas en 1969 y el sistema de telefonía móvil mejorado (IMTS) se convirtió en el estándar.

Posteriormente, el sistema MTS usa canales de radio FM para establecer enlaces de comunicación entre el móvil y los transceptores de estación base centrales, puntos en que introducen las llamadas a las redes fijas o se transmiten a otro móvil. Estos sistemas sirven a un área de aproximadamente 60 Km a la redonda y cada canal opera de manera similar a una línea compartida. Cada canal se asigna a varios suscriptores, pero sólo uno puede usarlo a la vez. Si el canal preasignado está ocupado, el usuario debe esperar hasta que se desocupe antes de efectuar o recibir una llamada.

La demanda creciente en el espectro de frecuencias de telefonía móvil saturado impulsó a las compañías operadoras a desarrollar técnicas que proporcionaran un uso eficiente del espectro de frecuencias. Pero dicha evolución tecnológica pasó por varias etapas, que han sido el resultado de una progresión continua y marcada por una serie de generaciones tecnológicas.

Los sistemas de comunicaciones móviles se han convertido en uno de los motores de la sociedad de la información.

### 1.1. Sistemas Móviles de Primera Generación

Los sistemas móviles de primera generación, que empieza en la década de los setenta, son analógicos, es decir, la transmisión de la información en la interfaz radio es realizada sin ningún tipo de digitalización previa. No obstante, son considerados sistemas de Telefonía Móvil Automática (TMA), caracterizados por el hecho de que los terminales móviles sintonizaban automáticamente la estación base con mejor recepción y porque el

acceso al servicio no requería ninguna acción u operación manual, tal y como ocurría en los sistemas previos.

Algunos de los sistemas analógicos de telefonía móvil terrestre de esta primera generación son: TACS, AMPS, NMT, NAMT y TMA. AMPS se utilizaba en los Estados Unidos, TACS en el Reino Unido y en los EE.UU., NMT en los países nórdicos (Noruega, Suecia y Finlandia) y NAMT en Japón. Estos sistemas soportan únicamente servicios de transmisión de voz y tiene su origen en el sistema TACS del Reino Unido y en el sistema AMPS americano.

## **1.2. Sistemas Móviles de Segunda Generación**

Los sistemas analógicos de primera generación utilizados en los diferentes países eran incompatibles, lo que limitaba el servicio al ámbito de cobertura y, por otra parte, impedía el abaratamiento de los terminales móviles, ya que los fabricantes tenían que desarrollar productos específicos.

Este hecho, junto con los primeros problemas de saturación de la capacidad de estos sistemas, llevó en 1982 al establecimiento de un grupo de trabajo dentro de la Unión Europea, denominado GSM (Groupe Special Mobile), con objeto de elaborar un estándar paneuropeo sobre un nuevo sistema celular.

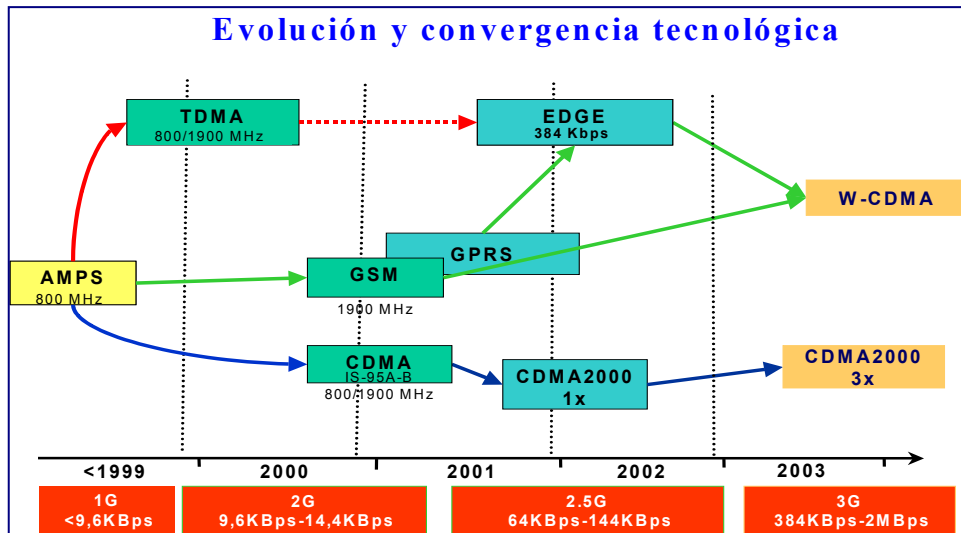
El sistema GSM se implanta en Europa y en otros países del resto del mundo, incluyendo países africanos, asiáticos, sudamericanos y del continente australiano. Del mismo modo, en EE.UU. se desarrollan los sistemas D-AMPS (posteriormente rebautizado como TDMA) y CDMA, mientras que en Japón se implanta el sistema PDC.

Todos estos sistemas celulares se caracterizan por ser sistemas digitales, lo cual permite que la transmisión de la información en la interfaz radio se realice mediante una codificación previa.

## **1.3. Sistemas Móviles de Tercera Generación**

El concepto de sistema de tercera generación surgió inicialmente en el seno de la ITU con el nombre de FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System), posteriormente se cambió a IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000).

Este sistema nació con el objetivo de superar las limitaciones de los sistemas móviles de segunda generación. Sin embargo, desde el lanzamiento de los sistemas de segunda generación (GSM en Europa, PCS en América y PDC en Japón) se planteó la necesidad de superar ciertos inconvenientes entre ellos el buscar una sistema que permita unificar las distintas tecnologías, iniciándose el estudio de alternativas viables para la tercera generación.



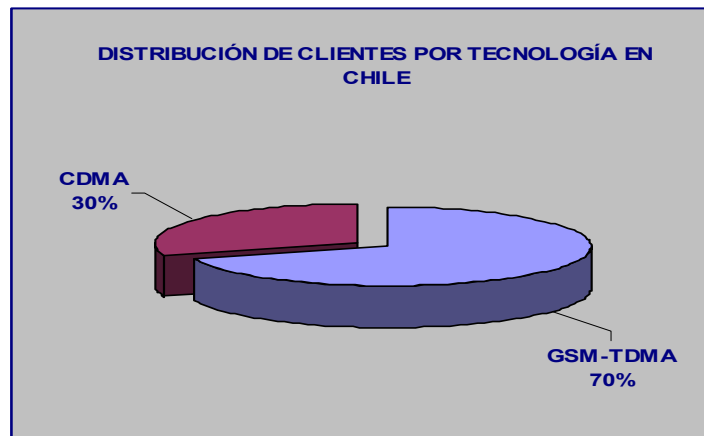
Fuente:UIT

En la actualidad, tras una década de estudio y de evolución, los sistemas de tercera generación darán sus primeros pasos durante los próximos años. En este contexto la arquitectura del Sistema de GSM será una de los pilares para la evolución de la red hacia el sistema de 3ª generación, de esta forma los operadores minimizarán los costes de su implantación. La mayor parte de los operadores iniciales de 3ª generación serán miembros de la comunidad GSM.

En la actualidad existen en la industria mundial dos tecnologías predominantes, GSM utilizada en países europeos, africanos, asiáticos, sudamericanos y del continente australiano; y la CDMA (Code División Múltiple Access), de Estados Unidos y Japón básicamente.

## 2. Situación Tecnológica Actual de Chile

La tecnología predominante en la actualidad en Chile es GSM-TDMA, la cual concentra un 70% del mercado. Esta distribución es consecuente con la que predomina a nivel mundial.



### **3. Perspectiva Tecnológica**

Al revisar la historia mundial, de la cual hemos expuesto algunos hitos y hechos relevantes, y de la cual Chile no queda exento, podemos observar como primer elemento de análisis que los distintos actores no han logrado conciliar un único estándar para el desarrollo tecnológico en el mundo, lo que se traduce en ineficiencias en la introducción tecnológica de uno de los estándares en cualquier país.

Como segundo elemento relevante de análisis se puede señalar que toda evolución tecnológica e introducción de una tecnología tiene necesariamente el costo de aprendizaje necesario para que ésta opere adecuadamente de acuerdo a los parámetros técnicos esperados tanto para los ambientes de capacidad, calidad de las comunicaciones y niveles de prestación de servicios.

Estos costos de aprendizaje en la práctica del mundo de las Comunicaciones Móviles se traducen en nuevos releases de softwares o upgrades de hardware con el fin de mejorar los estándares en operación de los sistemas, y corregir las deficiencias detectadas.

Como tercer elemento de análisis, y con la finalidad de optimizar el costo final de una tecnología, tenemos que integrar los elementos precedentes en el Modelo de Tecnología a considerar, los que se traducirán en menores costos finales para el usuario, dados los menores reprocesos tecnológicos gracias a la curva de aprendizaje de la misma.

El análisis de elección de la tecnología más eficiente debe centrarse en cuestiones de disponibilidad, costo y servicio de soporte de terminales telefónicos, las economías de escala de producción a corto y mediano plazo, y las tendencias de evolución.

Lo anterior se debe traducir en minimización de costos de implementación de la tecnología, la adopción de un proceso de implementación simple, habilitar los servicios comerciales en un tiempo razonable, mantener una calidad de servicio satisfactorio para el cliente final y adoptar una tecnología que ofrezca una sólida base para la evolución futura.

En un primer análisis básico de las tecnologías disponibles, se descarta el uso de una tecnología analógica, dado el pobre uso de espectro y pobres sistemas de codificación de la voz (confidencialidad de la información).

Respecto de la tercera generación, está en desarrollo, lo que se traduce en costos muy altos (necesidad de espectro, sistemas ubicados en la zona de la curva de aprendizaje de mayores costos), lo que descarta su consideración en la actualidad en Chile.

En la segunda generación, podemos encontrar principalmente tres tecnologías aceptadas mundialmente, las que han tenido distintos niveles de penetración dentro del contexto mundial: IS-54, GSM y CDMA.

Los estándares IS-136 y GSM se sustentan en la tecnología TDMA.

El estándar de mayor penetración mundial es GSM con más del 50% del mercado, lo que hace que esta tecnología sea muy atractiva tanto para fabricantes de red y terminales como para investigadores y desarrolladores.

Una de las innovaciones que más han contribuido al éxito de GSM, fue la introducción de la tarjeta inteligente tipo SIM incorporada a cada teléfono. Esta tarjeta, además de dotar de seguridad interna al sistema, consigue la completa personalización del terminal móvil, de modo que basta con insertar la tarjeta de una persona en cualquier teléfono móvil para que el equipo quede desde ese momento personalizado.

Una de las ventajas de la tecnología GSM es la seguridad y confiabilidad que esta ofrece a los usuarios del servicio. Cuando se adquiere la suscripción, junto con el SIM se hace entrega de dos códigos de seguridad, que la Red utiliza como contraseña para verificar si el usuario está autorizado a disfrutar del servicio.

Estos códigos son:

**PIN:** es un código de cuatro cifras que evita que el teléfono sea utilizado por personas desautorizadas. Se deberá introducir dicho código cuando se desee conectar por primera vez a la red, y cada vez que se encienda el terminal.

**PUK:** es un código de ocho cifras que se utiliza para desbloquear el SIM. La tercera vez que se introduce el código PIN incorrectamente, el SIM se bloqueará automáticamente. Sólo se podrá desbloquear si se conoce el PUK o llamando al Centro de Atención Telefónica.

Mediante un proceso llamado autenticación, la red puede detectar si la persona que está haciendo uso del SIM es un suscriptor autorizado. Gracias a esta función, en GSM no es posible la clonación.

Para poder entender que la tecnología GSM es inviolable, en el momento que un suscriptor se conecta, envía a través del aire información secreta al centro de control de la red (switch) que permite identificarlo como un suscriptor y autorizarlo a conectarse a la misma, lo cual no permite que equipos de radios especiales puedan capturarla y copiarla asignándola a otra persona.

Gracias a un proceso llamado encriptación, se hace posible que en GSM las comunicaciones sean totalmente privadas, ya que es imposible que intrusos interfieran en la conversación, o descifren la información que está siendo transmitida por el aire.

Respecto de la compresión de la voz, deberá seleccionarse un estándar que permita un adecuado mix entre la calidad de la voz y el nivel de compresión.

En término de codificadores de voz, existen principalmente tres tipos:

- Vcoders
- Waveform coders
- Hybrid coders.

La complejidad de un codificador estará asociada a la calidad de la voz y el nivel de compresión de la información (Kbit/s).

GSM emplea codificadores híbridos, los que son relativamente más complejos que los otros tipos, pero que proveen la mejor relación entre la calidad de voz y el nivel de compresión.

La calidad de la comunicación es un concepto bastante subjetivo en el que intervienen numerosos factores: fidelidad del sonido, ruido de fondo, ruidos parásitos, cortes de conversación. En este sentido, la calidad de voz de la telefonía GSM alcanza un equilibrio adecuado entre todos estos parámetros.

Un teléfono GSM puede funcionar en cualquier red GSM del mundo sin ningún tipo de modificación. Cuando el usuario se desplaza a otro país donde existe una red GSM, el propio teléfono se conecta a ella automáticamente. Esto es lo que se denomina "itinerancia" (roaming en inglés). En las tecnologías anteriores al GSM, el teléfono dejaba de funcionar en cuanto el usuario abandonaba la zona de cobertura de su red de origen.

La utilización de la tecnología digital permite ofrecer e implantar nuevos servicios de valor añadido, como la identificación del número llamante.

Respecto a la seguridad y privacidad, las comunicaciones analógicas son fácilmente interceptables por cualquiera que posea un receptor multibanda. Por el contrario, las comunicaciones digitales pueden protegerse más fácilmente mediante técnicas de cifrado. En concreto, el estándar GSM utiliza una norma de cifrado que ofrece una protección razonable, por lo que la interceptación de llamadas de otras personas es sumamente difícil (excepto en la propia central, bajo mandato judicial).

El espectro de radiofrecuencias es un elemento extremadamente escaso, mientras la demanda por el uso de los servicios ha ido creciendo.

La eficiencia en el uso del espectro pasa a ser un factor relevante en la elección, el diseño de las redes y un elemento relevante en la estructura de costos de la operadora.

Esta eficiencia es parcialmente mejorada al re-utilizar las mismas frecuencias en espacios geográficos distintos (considerando la natural disminución del nivel de potencia en función de la distancia de la estación base).

Como contrapartida, la introducción de la reutilización de frecuencias introduce interferencias co-canal. Esto último condiciona la búsqueda de un equilibrio entre la eficiencia en el uso de espectro al re-utilizar las mismas frecuencias y la tasa de error permisible por el sistema (BER) dadas las interferencias co-canal que pudieran presentarse.

GSM presenta una estructura de protección ante las interferencias a través de complejas y avanzadas técnicas de codificación de canal, lo que le permite asumir una adecuada reutilización de frecuencias manteniendo el equilibrio señalado en el párrafo precedente:

- **Codificación de canal:** El canal codificado en GSM emplea 260 bits de código de voz, los que son codificados en tramas de 456 bits codificados.
- **Sistema adaptativo de multitasa (AMR):** consiste de un número diferente de codecs (8 en total), que optimizan la codificación del canal de acuerdo al

entorno de radio. Dependiendo del ratio C/I se podrá incrementar o decrementar la codificación del canal, buscando mejorar la calidad de la voz.

Cabe señalar que este mismo codec ha sido especificado para ser usado en las redes WCDMA/UMTS. Esto garantiza similar calidad de voz en las redes GSM y UMTS.

- **Aleatorización de errores (Interleaving):** consiste en reordenar la secuencia de información a transmitir con el fin de evitar que las ráfagas de errores afecten al contenido de la información en forma significativa.

GSM emplea dos niveles de interleaving.

- **Cifrado y Encriptación:** GSM provee un cifrado de la información, con el fin de evitar que ésta sea interpretada por cualquier dispositivo que pueda recibir su contenido.


La eficiencia en el uso del espectro es definida como la capacidad máxima de ocupación por unidad de área, y su cálculo debe considerar los trade-off por re-utilización de frecuencias como otros parámetros.

La métrica de la eficiencia puede ser aplicada a cualquiera de las tecnologías y normalmente es medida en (b/s)/[Hz\*m<sup>2</sup>] (Area Spectral Efficiency of Cellular Mobile Radio Systems – M. Alouini, A. Goldsmith).

Esta métrica, incluye el efecto de:

- Método de Acceso
- Método de Modulación
- Organización de los canales
- Re-utilización de espectro.

Estas variables pueden ser relacionadas a través de la fórmula:

$\text{number of cells/km}^2 = \frac{\text{offered load (bits/s/km}^2\text{)}}{\text{available spectrum (Hz) x spectral efficiency (bits/s/Hz/cell)}}$

Presented at NVEC 2002, San Diego, CA - Nov. 4, 2002
7

Gráficamente:



Fuente: U.S. Senate Comite on Comerse, Science & Transportation a través de página web: [commerce.senate.gov/hearings/073101Chart.pdf](http://commerce.senate.gov/hearings/073101Chart.pdf), obtenido el 21 de Julio de 2003 a las 11:30 horas .

En este gráfico podemos observar el resultado de aplicar la metodología de cálculo de la eficiencia espectral a las principales tecnologías que hemos señalado en el presente documento: CDMA y GSM, pudiendo observar que ambas presentan el mismo nivel de eficiencia espectral, cuando evaluamos la red básica de comunicaciones móviles para el servicio de comunicación de voz.

En la arquitectura de una red GSM podemos encontrar otra interesante e innovadora característica de este estándar: la existencia de los nodos denominados BSC (Base Station Controller), los que permiten descentralizar funciones que en otros estándares están centralizados en las Centrales de Conmutación (MSC), lo que libera capacidad de procesadores, de procesos, de memorias de las centrales de conmutación, mejorando con ello, la performance global de los MSC.

Respecto de la interconexión de los distintos elementos de red, GSM considera complejas técnicas de compresión de la información a nivel de BTS (Base Transceiver Station) y BSC, con el fin de minimizar los requerimientos de enlaces entre las componentes, lo que se traduce en menores costos operacionales y menores elementos que gestionar. Para ello, incorpora los TRC (Transcoder Controller). Estos dispositivos permiten disminuir a  $\frac{1}{4}$

las necesidades de enlaces de interconexión de las BTS, dado que transforman un canal de 64 Kbps estándar en un canal de 16 kbps.

Complementariamente y desde el punto de vista de la transmisión, también es posible optimizar el uso de los medios de transmisión al interconectar las BTS en cascada hasta completar el uso de un enlace E1.

Finalmente, dados los antecedentes presentados en el presente documento podemos resumir:

- GSM y CDMA presentan igual eficiencia espectral en sus redes para el servicio de comunicación de voz.
- GSM es la tecnología con mayor deployment en el mundo, a nivel de redes en operación y clientes vigentes.
- GSM presenta hoy un menor costo de aprendizaje, pues ya ha sido asumido en el pasado.
- GSM permite optimizar el uso de medios de interconexión de las BTS, disminuyendo considerablemente la necesidad de enlaces por uso de técnicas de compresión.
- GSM cuenta con el mayor interés de parte de las empresas fabricantes de equipos de red, de terminales e investigadores que garantizan una eficiente evolución.
- GSM presenta terminales a menor costo, con una mayor variedad y disponibilidad de los mismos en el mercado, con soporte oportuno y adecuado, y con el interés de los mayores fabricantes en mejorar su tecnología asociada.

#### **4. Ventajas de GSM sobre otros Sistemas**

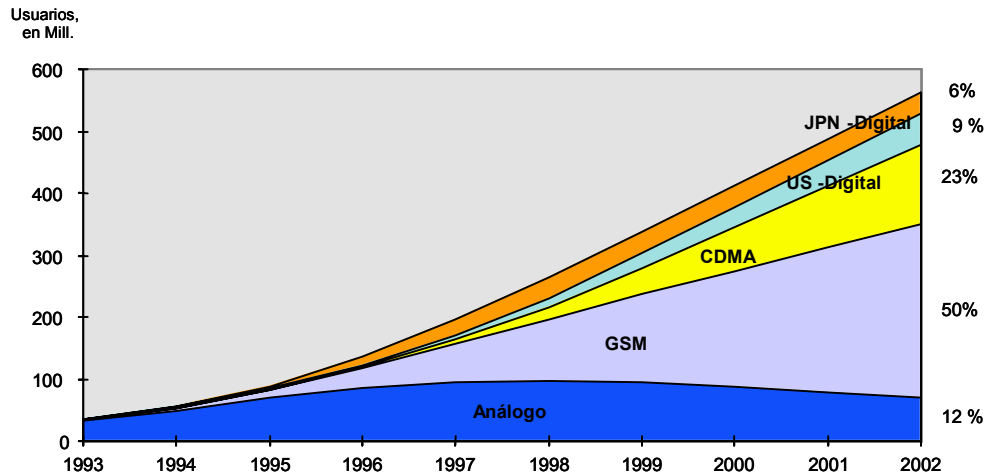
La liberalización del mercado móvil en Latinoamérica ha llevado a una creciente competencia entre operadores establecidos y nuevos operadores entrando en el mercado. Esta evolución del escenario móvil ha creado la necesidad de migrar las operaciones con tecnologías de primera generación hacia sistemas de 2G y 2.5G.

Aquellos operadores que primero completen el proceso de migración en sus respectivos mercados, contarán con una gran ventaja competitiva en la lucha por una posición predominante. La notable diferencia en calidad de voz, la flexibilidad para ofrecer servicios de valor agregado y el mayor atractivo de los terminales se han convertido en fuertes argumentos a favor de estos operadores.

Entre las opciones tecnológicas existentes, queda subrayada la predominancia de GSM a nivel mundial:

- Participación de más del 71% del mercado móvil digital
- Más de 2/3 del total de abonados entre todas las tecnologías (645.5 de 955 millones)
- Más de 430 redes GSM a nivel mundial; más de 15 redes en Latinoamérica.

## Tendencia de los estándares a nivel mundial



Fuente: EMC (World Cellular Database)

Las ventajas de GSM sobre otras tecnologías tiene dos focos: ventajas para los Operadores y ventajas para los Usuarios.

### i. Ventajas para Operadores

GSM es la tecnología celular mas exitosa del mundo. Hoy 7 de cada 10 usuarios de telefonía celular en el mundo utilizan GSM , y a finales de 2003 serán más de mil millones de usuarios en más de 179 países. En menos de diez años, GSM demostró ser la tecnología celular de mayor crecimiento y preferencia mundial.

Al ser una tecnología masificada a nivel mundial, existen varios proveedores de prestigio de dicha tecnología, con lo cual aseguran la mantención y evolución a futuro de sus redes y no dependen de un solo proveedor.

La tecnología GSM puede ser implementada en cualquier frecuencia, dependiendo de las regulaciones de cada país. Las frecuencias en uso alrededor del mundo incluyen 900, 1800 y 1900 MHz.

Al incorporar nuevos nodos de red, permite optimizar tanto la red de radio como la red de transmisión, facilitando el despliegue y disminuyendo los tiempos de instalación. Así mismo incorpora nuevos elementos de seguridad al sistema.

### ii. Ventajas para Usuario

La arquitectura abierta de GSM ofrece una compatibilidad superior con sistemas, equipos y aplicaciones desarrolladas alrededor del mundo. Las principales ventajas y beneficios que entrega GSM a los usuarios son:

- a. **Seguridad, privacidad y flexibilidad** : A través de la tarjeta SIM que lleva cada teléfono, el usuario obtiene una mayor flexibilidad en la manera como usa su

teléfono sin perder la seguridad y privacidad de sus comunicaciones. Puede prestar su teléfono y limitar las llamadas que hará quien lo vaya a usar. Puede cambiar de teléfono con sólo transferir la tarjeta SIM manteniendo su misma cuenta y número.

b. **Innovación constante** : Desde sus inicios, los avances más populares e importantes en la comunicación celular así como los servicios de valor agregado más exitosos se han dado en las redes GSM.

c. **Roaming universal** : En el futuro, los fabricantes de teléfonos construirán unidades que pueden operar en todas las cuatro frecuencias brindándole una verdadera experiencia de Roaming Universal.

d. **Terminales** : Los modelos GSM ofrecen más beneficios, funciones y diseños más atractivos. Estos celulares son más económicos comparados con los TDMA y CDMA, gracias a las economías de escala que otorga fabricar para el 70% de los suscriptores de telefonía celular del mundo.