

# Universidad de las Ciencias Informáticas

## Facultad 2



### **Título:** Estudio de la Gestión de la Localización en Redes CDMA2000.

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas.

**Autor(es):** Carlos J Madariaga Fernández.  
Michel López del Castillo Caymares.

**Tutores:** Ing. Madelis Pérez Gil.  
Ing. Serguei Guerra Fernández.

**Consultante:** Msc Pedro Arzola Morris.

Ciudad de la Habana, junio de 2009.  
"Año del 50 aniversario del triunfo de la revolución".

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Declaramos que somos los únicos autores de este trabajo y autorizamos a la Dirección de la Facultad 2 perteneciente a la Universidad de las Ciencias Informáticas; así como a dicho centro para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmamos la presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año 2009.

---

Michel López del Castillo Caymares.

Firma del Autor

---

Carlos J Madariaga Fernández.

Firma del Autor

---

Ing. Serguei Guerra Fernández.

Firma del Tutor

---

Ing. Madelis Pérez Gil.

Firma del Tutor

*"Se puede admitir la fuerza bruta, pero la razón bruta es insoportable."*

*Oscar Wilde.*

## **DEDICATORIA**

Quisiera dedicar esta tesis a mis padres, hermano, novia y demás familiares, a todos los seres queridos que de una u otra forma me han ayudado a realizar mis estudios. A todos mis amigos y compañeros de aula que me han acompañado durante mi vida de estudiante.

Michel López del Castillo Caymares.

Dedicarle este trabajo a los seres que quiero , es como darle un beso en la cara a quien se le quiere dar el corazón .Por eso discúlpame madre querida, padre y familia , discúlpenme los amigos que ya se saben familia, a ustedes le dedico mi vida, a los demás este trabajo.

Carlos J Madariaga Fernández.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi hermano que siempre ha estado a mi lado, guiándome y apoyándome en todo momento, a mi novia Priselis por siempre estar conmigo y no separarse ni un solo momento, por todas las noches de desvelo que estuvo ayudándome, a mi cuñada Heysell que de igual manera me aconsejó y ayudó desde que ingresé a la Universidad. A los tutores y a todas aquellas personas que nos brindaron su ayuda sin las cuales esta investigación no hubiera sido posible.

Michel López del Castillo Caymares.

El vocablo agradecer refiere a una manifestación de gratitud, por un bien o una atención recibida. Con él se denotan reconocer, corresponder, gratificar, premiar, retribuir, devolver, dar las gracias. Quisiera que este documento me brindara alguna alegría, en lo personal, para darle una magnitud relevante en mi vida, pero no la tiene y no puedo ser tan cínico de utilizarlo para manchar los nombres de las personas que en verdad quiero, eso y que son mucho nombres como para atreverme a escribirlos todos. No obstante el hábito no hace al monje, por lo que me doy el gusto de disfrutar este breve espacio para agradecer a todas esas personas, que de tan relevantes que son, pasan desapercibidas....

Carlos J Madariaga Fernández.

## **RESUMEN**

Este trabajo trata acerca del estudio de los métodos de localización de móviles en redes CDMA2000. En él se analizó el estado del arte de esta tecnología a nivel mundial, regional así como su arquitectura. Además se analizó la tecnología existente en Cuba que cuenta con GSM y GPRS en el sector estatal. Estas tecnologías, por su limitada velocidad de transmisión y ancho de banda no son capaces de prestar los servicios con la calidad de la tecnología CDMA2000; entre estos servicios se encuentran: multimedia, navegación en internet, envío y recepción de correos electrónicos, servicios de domótica, servicios basados en la localización entre otros. Para finalizar se propuso la utilización de un método de localización basándose en las ventajas del mismo con respecto a los demás métodos analizados.

### **Palabras claves:**

CDMA2000, Localización, Servicios, Telefonía Celular.

**Tabla de Contenido.**

**INTRODUCCIÓN** ..... 1

**CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**..... 4

1.1. INTRODUCCIÓN..... 4

1.2. CONCEPTOS VINCULADOS AL CAMPO DE ACCIÓN..... 4

    1.2.1 Celda o célula:..... 4

    1.2.2 Espectro Esparcido (SS, Spread Spectrum): ..... 4

    1.2.3 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access). ..... 4

    1.2.4 Handover..... 5

    1.2.5 LBS (Servicios Basados en la Localización). ..... 5

1.3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES. .... 5

1.4. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES. .... 11

    1.4.1 Generación Cero (0G) ..... 11

    1.4.2 Primera Generación (1G)..... 11

    1.4.3 Segunda Generación (2G)..... 12

    1.4.4. Tercera Generación (3G)..... 14

    1.4.5 Cuarta Generación (4G). ..... 16

1.5. RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL SURGIMIENTO DE CDMA2000..... 17

1.6 ARQUITECTURA CDMA2000..... 20

    1.6.1 Paquetes Nodo de servicio de datos (PDSN). ..... 20

    1.6.2. Authentication, Authorization, Accounting (AAA). ..... 21

    1.6.3. Home Agent (HA). ..... 21

    1.6.4. Ruteador..... 21

    1.6.5. Mobile Station (MS, Estación Móvil)..... 21

    1.6.6. MSC (Centro de Conmutación Móvil)..... 22

    1.6.7. HLR (Registro Local). ..... 22

    1.6.8. VLR (Visitor Location Register). ..... 22

    1.6.9. Base Transceiver Station (BTS, Estación Base Transceptora). ..... 22

    1.6.10. Base Stations Controller (BSC, Controlador de Estación Bases). ..... 23

1.6.11. Radio Network (RN).....	23
1.7 ESTADO DEL ARTE DE CDMA2000.....	24
1.7.1 Estado de CDMA2000 internacional.....	24
1.7.2 Estado de CDMA2000 regional.....	27
1.7.3 Estado de CDMA2000 en Cuba.....	29
1.8 GESTIÓN DE LA LOCALIZACIÓN EN CDMA2000.....	30
<b>CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE LA LOCALIZACIÓN EN CDMA2000.....</b>	<b>31</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	31
2.2. LOCALIZACIÓN.....	31
2.2.1 Categorías de Localización.....	31
2.3 GESTIÓN BÁSICA DE LA LOCALIZACIÓN EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES.....	33
2.3.1 Localización básica (conmutación de circuito).....	33
2.3.2 Localización básica (conmutación de paquetes).....	35
2.4 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN.....	36
2.5 TÉCNICAS BASADAS EN IDENTIDAD CELULAR.....	39
2.5.1 Identidad Celular Global.....	39
2.5.2 Identidad Celular Global Perfeccionada.....	40
2.6 TÉCNICAS BASADAS EN LA RED.....	41
2.6.1 Ángulo de llegada o Arribo.....	41
2.6.2 Tiempo de llegada o Arribo.....	42
2.6.3 Diferencia de Tiempo de Llegada o Arribo.....	43
2.6.4 Huella Multitrayecto de la Señal de Radio.....	43
2.6.5 Triangulación de señal.....	44
2.7 TÉCNICAS BASADAS EN LA MODIFICACIÓN DEL TERMINAL MÓVIL.....	46
2.7.1 Tiempo de llegada con terminal modificado (Time of Arrival).....	46
2.7.2 Trilateración avanzada de enlace hacia delante (Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT).....	46
2.7.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	46
2.7.4 Sistema de Posicionamiento Global Avanzado o Asistido.....	51
2.8 TÉCNICAS BASADAS EN INTERNET.....	52

2.8.1 Localización por dirección de IP (IP Adress):.....	52
2.8.2 DNS (Domain Name System).....	53
2.10 CONCLUSIONES.....	53
<b>CAPÍTULO 3: PROPUESTA PARA LA RED CDMA2000.....</b>	<b>54</b>
3.1. INTRODUCCIÓN.....	54
3.2. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LAS TECNOLOGÍAS DE REDES.....	54
3.2.1 Excepcional calidad de voz y de llamadas.....	56
3.2.2 Ancho de banda en demanda.....	56
3.2.3 Mayor cobertura a menor costo.....	56
3.2.4 Implantación más rápida.....	56
3.2.5 Datos en paquetes.....	56
3.2.6 Menos llamadas perdidas.....	57
3.2.7 Mayor seguridad y privacidad.....	57
3.2.8 Resistencia a la interferencia, ruido del ambiente y multirayectorias.....	57
3.2.9 Soporta múltiples plataformas de servicios.....	57
3.2.10 Plena compatibilidad con versiones anteriores.....	58
3.2.11 Mayor duración de la batería.....	58
3.2.12 Sincronización.....	58
3.2.13 Localización.....	59
3.3 CAMINO MIGRATORIO HACIA 3G.....	60
3.4. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN CUBA DE LOS MÉTODOS DE LOCALIZACIÓN.....	64
3.4.1 Técnica de localización basada en la identidad de celda.....	64
3.4.2 Ángulo de Arribo.....	64
3.4.3 Tiempo de Arribo.....	64
3.4.4 Diferencia de Tiempo de Llegada.....	65
3.4.5 Trilateración avanzada de enlace hacia adelante (Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT).....	65
3.4.6 Huella Multirayecto.....	65
3.4.7 Triangulación de la señal.....	65
3.4.8 Sistema de Posicionamiento Global.....	66

3.4.9 Sistema de Posicionamiento Global Avanzado o Asistido.....	66
3.4.10 Técnicas basadas en Internet.....	66
3.4.11 Precisión métodos de localización.....	67
3.5 PROPUESTA DE UN MÉTODO DE LOCALIZACIÓN PARA LA RED CDM2000 PARTIR DE LA INTEGRACIÓN DE AOA CON TOA.....	67
3.6 CONCLUSIONES.....	69
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS:.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA GENERAL:.....</b>	<b>73</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS:.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>80</b>

**Índice de Figuras**

FIGURA 1.1 TELÉFONO UTILIZADO EN LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL.....	6
FIGURA 1.2 MARTIN COPPER, CONSIDERADO EL PADRE DE LA TELEFONÍA CELULAR CON EL PRIMER CELULAR “MOTOROLA DYNATAC” .....	12
FIGURA 1.3 TELÉFONO GSM DE DISEÑO REGULAR.....	13
FIGURA 1.4 TELÉFONO TECNOLOGÍA 3G. ....	15
FIGURA 1.5 MIGRACIÓN DESDE 2G (CDMAONE) HASTA 3G (CDMA2000).....	16
FIGURA 1.6 DIAGRAMA DE RED CDMA2000 .....	19
FIGURA 1.7 DIAGRAMA DE RED CDMA2000 1xEV-DO. ....	20
FIGURA 1.8. ARQUITECTURA DEL NÚCLEO DE RED DE PAQUETES (PCN) DE CDMA2000. ....	24
FIGURA 1.9 ARQUITECTURA DE RED CDMA2000. ....	24
FIGURA 1.10 DESPLIEGUE DE CDMA2000.....	25
FIGURA 1.11 PORCENTAJE TOTAL DE SUBSCRITOS DE 3G-CDMA2000 POR REGIÓN. ....	26
FIGURA 1.12 PORCENTAJE TOTAL DE SUBSCRITOS DE 3G-CDMA2000 1xEV-DO POR REGIÓN. ....	26
FIGURA 1.13 PROVEEDORES DE CDMA2000 EN AMÉRICA LATINA.....	28
FIGURA 2.1 CATEGORÍAS DE LA LOCALIZACIÓN.....	32
FIGURA 2.2 PROCESO DE REDIRECCIONAMIENTO DEL MÓVIL. ....	34
FIGURA 2.3 ESTRUCTURA GENERAL DE UNA RED Y EQUIPOS ASOCIADOS A LA UTILIZACIÓN DEL PROTOCOLO MOBILE IP. ....	36
FIGURA 2.4 CELL-ID. ....	40
FIGURA 2.5 SISTEMA DE LOCALIZACIÓN POR ÁNGULO DE LLEGADA.....	42
FIGURA 2.6. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN TDOA .....	43
FIGURA 2.7. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN POR "HUELLA MULTITRAYECTO". LA SUMA DE TODAS LAS SEÑALES CREA UNA SEÑAL "HUELLA" QUE ES ALMACENADA. ....	44
FIGURA 2.8 TRIANGULACIÓN.....	45
FIGURA 2.9 SATÉLITE NAVSTAR GPS.....	47
FIGURA 2.10 RECEPTOR GPS.....	49
FIGURA 2.11 RED SATELITAL DE GPS.....	49
FIGURA 3.1 LBS POR ROLES [8].....	59
FIGURA 3.2 INGRESO TOTALES MUNDIALES POR ESTÁNDAR TECNOLÓGICO.....	60

FIGURA 3.3 VENTAS COMPARATIVAS DE TERMINALES (UMTS-CDMA2000). .....	62
FIGURA 3.4 SERVICIOS BRINDADOS POR LAS TECNOLOGÍAS 3G EN ADELANTE. ....	63

**Índice de Tablas.**

TABLA 2.1 FUENTES DE ERRORES EN LA TRANSMISIÓN DE GPS.....	50
TABLA 3.1 COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	55
TABLA 3.2 BANDAS DE TRANSMISIÓN DE FRECUENCIAS.....	55
TABLA 3.3 PRECISIÓN DE LOS MÉTODOS MÁS UTILIZADOS. ....	67
TABLA 3.4 SERVICIOS BASADOS EN LA LOCALIZACIÓN. ....	68

### INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, las telecomunicaciones han sido para la humanidad una herramienta de gran importancia, le ha permitido desarrollarse tanto económicamente como socialmente. Desde el surgimiento del primer teléfono, construido por Alexander Graham Bell y las primeras transmisiones inalámbricas, llevadas a cabo por Guillermo Marconi. El hombre no ha cesado de intentar avanzar cada día más en la rama de las telecomunicaciones. En el año 1973 después de un arduo trabajo, Martin Cooper logró realizar la primera llamada telefónica inalámbrica de la historia. Este acontecimiento marcó el inicio de una nueva etapa en el mundo de la telefonía.

Desde su comienzo las telecomunicaciones celulares han evolucionado por décadas en generaciones tecnológicas. Las tendencias actuales indican que la migración hacia la 3G (tercera generación) de comunicación inalámbrica tiene varios caminos tecnológicos factibles, entre los que resaltan: El Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal (UMTS, *Universal Mobil Telecommunications System*) y CDMA2000. Este último, por sus ventajas en cuanto a prestación de servicios y eficiencia ha penetrado el mercado internacional convirtiéndose en la principal tecnología empleada para las comunicaciones de tercera generación. Con CDMA2000 se logran velocidades de transmisión de datos de hasta 2Mbps, lo que supera ampliamente el margen de los 115Kbps que son alcanzados con GPRS, además brinda todos los servicios de la 2G (segunda generación), añadiéndole a estos la transmisión de paquetes y el uso de multimedia.

Uno de los principales servicios que puede brindar la telefonía celular, es el servicio de localización. Hasta el momento de la confección de este trabajo, la telefonía celular en Cuba no se ha desarrollado lo suficiente como para brindar dicho servicio, por lo que se hace necesario realizar un estudio de los principales métodos de localización que pudieran ser empleados centrados en una de las tecnologías existentes hasta el momento. (GSM, GPRS, UMTS, CDMA2000), particularmente en CDMA2000 por ser la tecnología hacia la cual se mueven las telecomunicaciones de 3G.

Por la importancia que tiene el hecho de poder brindar este servicio y la poca bibliografía que existe del tema, se hace necesario realizar un estudio y crear una base de conocimiento que pueda ser consultada en caso de que se decida desarrollar aún más la telefonía celular en el país e instalar la tecnología que se ha tomado como referencia (CDMA2000).

A partir de la situación problemática descrita con anterioridad surge el problema científico de: ¿Cuál es el método de localización más factible para ser aplicado en una red CDMA2000 en Cuba?

Definiéndose en la investigación como **Objeto de Estudio**: El estándar de red CDMA2000.

Reconociéndose como **Campo de Acción**: los métodos de Localización de Móviles sobre Redes CDMA2000.

Con el fin de solucionar el problema planteado se ha definido como **objetivo general** de este trabajo Proponer un método de localización para la red CDMA2000 en Cuba.

Por lo que se propone llevar a cabo el cumplimiento del objetivo desarrollando las siguientes **Tareas de Investigación**:

- Analizar la evolución de CDMA2000 y su penetración a nivel mundial, regional y nacional.
- Realizar un estudio de la arquitectura de red CDMA2000.
- Realizar un estudio de los métodos de localización que pueden ser empleados en una red CDMA2000.
- Proponer un método de localización para Cuba teniendo en cuenta algunos criterios de factibilidad.

Como guía de la investigación se tienen las siguientes preguntas científicas:

¿Qué precedentes tuvo la tecnología CDMA2000?

¿Cómo está compuesta la arquitectura de red CDMA2000?

¿Cuáles son y cómo funcionan los métodos de localización?

¿Cuál es el método de localización más indicado para una red CDMA2000 en Cuba?

Esta investigación se realizó empleando un diseño bibliográfico de carácter descriptivo, con el uso de técnicas de recolección de datos, tales como la entrevista, el análisis y síntesis descriptiva.

***El presente trabajo será estructurado en 3 capítulos:***

**Capítulo 1:** Este capítulo contiene los conceptos relacionados al dominio del tema de la investigación. Además en él se aborda una reseña histórica de la telefonía y del estándar CDMA. Así como un estudio de los elementos del estado del arte referentes al uso de esta tecnología a nivel internacional, regional y en el país. También se explica de forma resumida algunos de los principales elementos que componen la arquitectura de red de esta tecnología.

**Capítulo 2:** En este capítulo se describe el funcionamiento de los métodos de localización usados con la tecnología CDMA2000. Este muestra además un resumen de la gestión de localización por conmutación de circuito y por conmutación de paquete que se emplea con CDMA2000.

**Capítulo 3:** En este capítulo se analizan las ventajas y desventajas que supone cada método de localización. Se desglosa un breve estudio de la factibilidad de redes en el proceso migratorio hacia la tercera generación de la telefonía celular, así como las ventajas de CDMA2000 por sobre otras tecnologías. Y por último se propone un método de localización a aplicar en CDMA2000.

## **CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.1. Introducción**

En este capítulo se realiza un estudio de la historia de la telefonía celular hasta el momento de la confección del trabajo y se aborda la evolución de la tecnología CDMA2000, además se detallan características, conceptos fundamentales, y la arquitectura de red de esta tecnología para un mejor entendimiento del tema. También se abordan brevemente los sistemas de localización, en aras de preparar al lector para el siguiente capítulo.

### **1.2. Conceptos vinculados al Campo de Acción.**

#### **1.2.1 Celda o célula:**

Una celda o célula es una unidad geográfica de una red. Una red de radiotelefonía celular está conformada por una extensión de territorio cubierto por un conjunto de espacios conocidos como celdas y varios canales de radio repartidos entre dichas celdas. A cada celda se le asigna un conjunto de frecuencias de radio que son las que definen los canales de comunicación.

#### **1.2.2 Espectro Esparcido (SS, Spread Spectrum):**

Un sistema de Espectro Ensanchado se define como aquel en el que la energía media de la señal transmitida se reparte sobre un ancho de banda mucho mayor del ancho de banda de la información, empleando un código independiente al de los datos. Sólo se podrá operar sistemas de frecuencia directa, que es una técnica de estructuración de la señal que utiliza una secuencia pseudoaleatoria de código, con una velocidad de transmisión muy superior a la velocidad de la señal de información. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados, que produce un espectro semejante al ruido.

#### **1.2.3 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access).**

CDMA (Code Division Multiple Access ó Acceso Múltiple por División de Código) es un término genérico que define una interface de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro extendido que transmite flujos de bits. Básicamente, CDMA permite que múltiples terminales compartan el mismo canal de frecuencia, identificándose el "canal" de cada usuario [1].

#### **1.2.4 Handover.**

Se denomina **Handover** (Handoff) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de enviar el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente según parámetros establecidos. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

El proceso puede llevarse a cabo por dos motivos:

1. Si al medir la potencia y la calidad de la señal recibida, ésta se encuentra por debajo de un determinado umbral.
2. Si la estación base se encuentra sobrecargada y necesita liberar recursos.

Teniendo en cuenta el punto de vista de la red se distinguen dos tipos de traspaso:

1. Intra-Cell Handover: Se denomina así al proceso de cambio a otro canal de la misma estación base.
2. Inter-Cell Handover: Se denomina así al proceso de cambio a la estación base de una nueva celda [6].

#### **1.2.5 LBS (Servicios Basados en la Localización).**

Los Servicios Basados en la Localización buscan ofrecer un servicio personalizado a los usuarios basado en información de ubicación geográfica de estos. Para su operación utiliza tecnología de Sistemas de Información Geográfica y tecnología de comunicación de redes para transmitir información hacia una aplicación LBS que pueda procesar y responder la solicitud.

Las aplicaciones típicas LBS buscan proveer servicios geográficos en tiempo real. Algunos ejemplos típicos de esto son servicios de mapas, enrutamiento y páginas amarillas geográficas [8].

### **1.3. Historia y Evolución de las Comunicaciones Móviles.**

Todo comenzó en la ciudad de Detroit, en 1921, donde se implantó el primer sistema unidireccional de telefonía móvil, utilizado en los coches de la policía, este sistema tenía canales unidireccionales y frecuencias fijas que funcionaban a 2MHz. Diez años más tarde, aparece un sistema de comunicaciones

bidireccional a partir del cual se extienden las redes móviles a los servicios públicos asistenciales, así como al ejército. Pero comenzaron a existir algunos fallos en las 5.000 radios de Amplitud Modulada (AM, *Amplitude Modulated*) que existían por el año 1934, por lo general el ruido de los motores de los coches donde se instalaban afectaba considerablemente la transmisión.

Fue entonces cuando Edwin Armstron realizó una demostración transmitiendo por frecuencia modulada (FM, *Frecuency Modulated*), sistema que se pondría a la vanguardia de los medios de transmisión en todo el mundo. Además, se logró reducir el tamaño y el peso de los equipos radio-móviles. Surgen entonces los terminales de mochila (Figura 1.1) y otros modelos que a pesar del avance, continuaban siendo voluminosos. Los primeros resultados de las investigaciones y los avances realizados fueron aplicados en el campo militar, específicamente en La II Guerra Mundial.



**Figura 1.1 Teléfono utilizado en la segunda guerra mundial.**

A mediados del siglo XX, el ámbito de aplicación de la radio privada se extiende más allá del entorno oficial y llega a otros sectores como las empresas de agua, gas, electricidad, transportes y asistencia médica. Técnicamente hablando, es en este momento cuando aparecen las válvulas electrónicas en miniatura, que permiten el logro de los primeros equipos portátiles. Además, con la llegada de los transistores, en la década de los 60, se logró reducir aún más el tamaño y peso de los equipos, dando origen a los *walkie-talkie* (hablando caminando). Luego se desarrollaron técnicas de señalización por

tonos que aunque limitadas, proporcionaban prestaciones útiles tales como la llamada selectiva. Más tarde, se reduce progresivamente la canalización hasta 12,5KHz y aumenta por tanto, la capacidad de bandas de frecuencia.

La Corporación de Telegrafía y Telefonía de Estados Unidos de América (AT&T, *American Telephone and Telegraph*) introdujo el primer servicio telefónico móvil en los Estados Unidos (EEUU) el 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri. El sistema operaba con 6 canales en la banda de 150MHz con un espacio entre canales de 60KHz y una antena muy potente. Este sistema se utilizó para interconectar usuarios móviles (generalmente automóviles), con la red telefónica pública, permitiendo así, llamadas entre estaciones fijas y usuarios móviles. Un año después, el servicio telefónico móvil se ofreció en más de veinticinco ciudades de los EEUU y unos cuarenta y cuatro mil usuarios en total, aunque por desgracia habían veintidós mil más en una lista de espera de cinco años. Estos sistemas telefónicos móviles se basaban en una transmisión por FM.

La mayoría de estos sistemas utilizaban un solo transmisor muy poderoso para proveer cobertura a más de 80 km desde la base. Los canales telefónicos móviles de FM evolucionaron a 120KHz del espectro para transmitir la voz con un ancho de banda de 3KHz, no obstante se necesitaban mejoras en la estabilidad del transmisor, reducción de los niveles de ruido y un incremento del ancho de banda del receptor.

En muchas de las grandes ciudades, la demanda del servicio de telefonía móvil creció rápidamente y superó la capacidad con que contaban las redes telefónicas. La capacidad del sistema era menor que el tráfico que debía permitir, por ello, la calidad del servicio era insuficiente y las probabilidades de bloqueo de una llamada eran de un 65% aproximadamente.

Los usuarios y las compañías telefónicas se dieron cuenta de que los canales disponibles hasta el momento no eran suficientes para brindar un servicio de telefonía móvil con la calidad requerida. Se necesitaban grandes bloques del espectro para poder brindar este servicio en áreas urbanas.

En 1949, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, *Federal Communications Commission*) habilitó nuevos canales de comunicación y los distribuyó equitativamente entre las compañías telefónicas *Bell System* otras compañías independientes como la RCC (*Radio Common Carriers*), con la intención de

favorecer la competencia y evitar los monopolios. Fue a mediados de los años 50, en las oficinas centrales de Ericsson, en Estocolmo, Suecia, donde se creó el primer equipo que podía ser utilizado viajando en automóvil, pero fue necesario esperar diez años más, al surgimiento de los transistores, para poder reducir aún más el tamaño y el peso de estos equipos y de esta manera poder introducirlos en el mercado.

En el año 1956, la *Bell System* comenzó a brindar servicio en los 450MHz, una nueva banda que permitía mayor capacidad. En 1958, la Corporación Radiotelefónica Richmond (RRC, *Richmond Radiotelephone Corporation*) mejoró su sistema de marcado conectando rápidamente las llamadas de móvil a móvil. A mediados de la década de los 60 el Sistema Bell introdujo el Servicio Telefónico Móvil Mejorado (IMTS, *Improved Mobile Telephone Service*) con características más perfeccionadas. Las mejoras en el diseño del transmisor y del receptor permitieron una reducción en el ancho de banda del canal de FM de 25-30KHz. A finales de esta década y principios de la década siguiente, comenzó el trabajo con los primeros sistemas de telefonía celular [2].

Las frecuencias no eran reutilizadas en celdas adyacentes para evitar la interferencia en estos primeros sistemas celulares. En enero de 1969 la *Bell System* aplicó por primera vez la reutilización de frecuencias en un servicio comercial para teléfonos públicos de la línea del tren de *Nueva York a Washington D.C.* Para desarrollar este sistema se utilizaron seis canales en la banda de 450MHz en nueve zonas a lo largo de una ruta de 380 km. Se debe reconocer que la primera generación de radio celular analógico no fue una nueva tecnología pero sí una nueva idea, la de reorganizar la tecnología existente IMTS a gran escala. Mientras que las comunicaciones de voz utilizaron el mismo FM analógico que se había estado utilizando desde la Segunda Guerra Mundial, dos mejoras importantes hicieron realidad el concepto de celular; a principios de la década del 70 se inventó el microprocesador; aunque los algoritmos complejos de control se implantaban en lógica con cables, el microprocesador facilitó la disminución del peso y tamaño de los equipos y la velocidad en su funcionamiento. La segunda mejora fue en el uso de un enlace de control digital entre el teléfono móvil y la estación base. No fue sino hasta marzo de 1977 cuando la FCC aprobó que *Bell* instalara y probara un sistema de telefonía celular en Chicago.

Martin Cooper fue el pionero en esta tecnología, a él se le considera como "el padre de la telefonía celular" al introducir el primer radioteléfono en el año 1973, en Estados Unidos, mientras trabajaba para

*Motorola*; pero no fue hasta 1979 cuando aparecieron los primeros sistemas comerciales en Tokio, por la Compañía de Telefonía y Telegrafía Japonesa (NTT, *Nippon Telegraph and Telephone Corporation*).

En 1978, en EEUU comenzó a operar el Servicio Telefónico Móvil Avanzado (AMPS, *Advanced Mobile Phone Service*). En ese año, diez celdas cubrían 355000 km cuadrados en el área de Chicago, operando en las nuevas frecuencias en la banda de 800MHz. Esta red utilizaba circuitos integrados, una computadora dedicada y un sistema de conmutación, lo que probó que los sistemas celulares podían funcionar. El desarrollo de AMPS fue muy rápido, un sistema comenzó a operar en mayo de 1978 en Arabia Saudita y otro en Tokio en diciembre de 1979.

Otro estándar que surgió fue el de AURORA-400 en Canadá en febrero de 1983 utilizando equipos de la *General Transport Equipment (GTE)* y *NovAtel*. Este sistema descentralizado operaba en los 420MHz y utilizaba ochenta y seis celdas, funcionando mejor en áreas rurales por su poca capacidad pero con cobertura amplia. El sistema celular de Telefonía Móvil Nórdica (NMT, *Nordic Mobile Telephone System*) en su versión NMT450 inició operaciones en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega en el rango de 450MHz. En 1985 Gran Bretaña empezó a usar Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS, *Total Access Communication System*) en la banda de 900MHz. Más tarde, Alemania Occidental implementó la Red Telefónica de Radio C (C-Netz, *Radio Telephone Network C*), los franceses Radiocom 2000, y los Italianos la Tecnología Teléfono Móvil con Radio Integrado/Teléfono Móvil con Sistema Integrado (RTMI/RTMS, *Radio Telephone Mobile Integrato/Radio Telephone Mobile System*). Todo esto dio origen a la existencia de nueve sistemas incompatibles, a diferencia de los EEUU que no tenía este problema. Teniendo en cuenta esto se pensó en un plan para crear un sistema digital único para Europa. Por sólo poner un ejemplo, en EEUU la industria celular creció de menos de doscientos cuatro mil suscriptores en 1985 a un millón seiscientos mil en 1988.

A finales de la década de los 80 los sistemas de telefonía celular digital cobraron un mayor interés, se necesitaba que tanto la voz como el control fueran digitales. El uso de tecnología digital para la reproducción de discos compactos popularizó la calidad del audio digital. La idea de disminuir los niveles de ruido en las comunicaciones hasta los límites de cada área de servicio, fueron atractivos para los ingenieros y usuarios comunes.

En 1990, el sistema celular en EEUU agregó una nueva característica, el tráfico de la voz se convirtió en digital. Esto triplicó la capacidad con el muestreo, digitalización y multicanalización de las conversaciones. Para 1991, el servicio celular digital comenzó a emerger reduciendo el costo de las comunicaciones inalámbricas y mejorando la capacidad de manejar llamadas de los sistemas celulares analógicos. Desde 1993 en EEUU los sistemas se estaban desbordando de usuarios, crecieron de medio millón en 1989 a más de trece millones en 1993. En 1994, *Qualcomm Inc.* propuso un escenario de espectro esparcido para incrementar la capacidad del servicio. Construido basado en conocimientos anteriores, el CDMA sería en todos sus elementos digital, además de que prometía de 10 a 20 veces mayor capacidad. En estos días más de la mitad de los teléfonos en el mundo operaban de acuerdo a los estándares de AMPS, y en su inicio nadie pensó que sería el que conviviría con TDMA o CDMA para obtener sistemas duales, con tecnología analógica y digital.

El 14 de enero de 1997, la FCC abrió un nuevo grupo de frecuencias inalámbricas que permitiría el desarrollo de las tecnologías como CDMA: la banda de 1900MHz. El Servicio de Comunicación Personal (PCS, *Personal Communication Services*), o sea, PCS-1900 es la contraparte en frecuencia de GSM y tiene un gran potencial. PCS es el nombre dado para los servicios de telefonía móvil digital en varios países y que operan en las bandas de radio de 1800 o 1900MHz [2].

Se realizó un estudio para mejorar la tecnología celular. Los objetivos trazados fueron:

- 1 Alta capacidad de servicio: Capacidad para dar servicio de tráfico a miles de usuarios dentro de una zona determinada y con un espectro asignado mediante cientos de canales de voz.
- 2 Uso eficiente del espectro: Uso eficiente de un recurso muy limitado como es el espectro de radio asignado al uso público.
- 3 Adaptabilidad a la densidad de tráfico: La densidad de tráfico varía en los distintos puntos de un área de servicio, el sistema se tiene que adaptar a estas variaciones.
- 4 Compatibilidad: Seguir un estándar, de forma tal que se pueda proveer el mismo servicio básico, con las mismas normas de operación.

5 Facilidad de extensión: Se trata de que un usuario pueda cambiar de área de servicio pasando a una distinta y tener la posibilidad de comunicarse (Roaming).

6 Servicio a vehículos y portátiles.

7 Calidad de servicio: Implica seguir niveles estándares de bloqueo y calidad de voz.

8 Accesible al usuario: Es decir que el costo del servicio pueda ser afrontado por un gran número de personas.

### **1.4. Evolución de los Sistemas Celulares.**

En este epígrafe se analizarán las distintas generaciones que han surgido a lo largo de la historia de la telefonía celular en el mundo.

#### **1.4.1 Generación Cero (0G)**

La 0G representa telefonía móvil previa a la era celular. Estos teléfonos móviles eran usualmente colocados en autos o camiones, aunque también eran fabricados modelos en portafolios. Por lo general, el transmisor, transmisor-receptor, era montado en la parte trasera del vehículo y unido al resto del equipo, el dial y el tubo, colocado cerca del asiento del conductor. Eran vendidos por las Compañías de Comunicaciones Inalámbricas (WCC, *Wireless Communications Companies*), RCC y proveedores de servicios de radio doble vía. El mercado estaba compuesto principalmente por constructores y celebridades [2].

#### **1.4.2 Primera Generación (1G)**

En lo que respecta a las redes terrestres, la primera generación de sistemas móviles (hasta 1994) estaba dominada por sistemas analógicos como el TACS, el Sistema Americano de Telefonía Móvil (AMPS), el Sistema Japonés de Telefonía Móvil (JMPS, *Japanese Mobil Phone System*), entre otros.

Al comienzo de los años 80, la organización Qualcomm lanzó el servicio Omnitrac tanto en Norteamérica como en Europa, los cuales proporcionaban servicios de mensajes bidireccionales e información de posición automática.

La marca representativa de esta generación es la transferencia analógica, con calidad de enlaces muy reducida, la velocidad de conexión no era mayor a 2400 baudios. La transferencia entre células era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad, basadas en FDMA, lo que imposibilitaba que simultáneamente se le brindaran servicios a un sin número de clientes puesto que los protocolos de asignación de canal estáticos padecían de esta limitación.

A su vez, el tamaño de los aparatos era mayor al de hoy en día; fueron originalmente diseñados para el uso en los automóviles. La Motorola fue la primera compañía en introducir un teléfono realmente portátil, figura 1.1.



**Figura 1.2 Martin Copper, considerado el padre de la telefonía celular con el primer celular “Motorola DynaTAC”.**

Estos sistemas (AMPS, TACS y Radiocom 2000) fueron conocidos luego, junto con otros, como la 1G de Teléfonos Celulares.

### **1.4.3 Segunda Generación (2G)**

La llegada de la segunda generación de telefonía celular fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en prácticamente los mismos espectros de radiofrecuencia asignados a la telefonía celular, para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir más enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitían integrar otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal, como es el caso del envío de

mensajes de texto o *Paging* en un servicio denominado Servicio Corto de Mensajes o (SMS, *Short Message Service*) y una mayor capacidad de envío de datos desde dispositivos de fax y modem.

La primera llamada digital entre teléfonos celulares fue realizada en Estados Unidos en 1990. En 1991 la primera red GSM fue instalada en Europa.

La generación se caracterizó por circuitos digitales de datos conmutados por circuito y la introducción de la telefonía rápida y avanzada a las redes. Utilizó a su vez TDMA para permitir que hasta ocho usuarios utilizaran los canales separados por 200MHz. Los sistemas básicos usaron frecuencias de banda de 900MHz, mientras otros utilizaron frecuencias de bandas de 1800MHz y 1900MHz. Nuevas bandas de 850MHz fueron habilitadas posteriormente. El rango de frecuencia utilizado por los sistemas 2G coincidió con algunas de las bandas utilizadas por los sistemas 1G, como la banda de 900Hz en Europa, desplazando rápidamente a la 1G [2].

La introducción de esta generación trajo consigo la desaparición de los teléfonos celulares conocidos como “ladrillos”, dando paso a pequeñísimos aparatos que entran en la palma de la mano y cuyo peso oscila entre los 80 y 200g. Una de las mejoras en estos equipos fue el aumento de la duración de la batería, usando tecnologías de bajo consumo energético.



**Figura 1. 3 Teléfono GSM de diseño regular.**

Los sistemas 2G utilizan protocolos de codificación más sofisticados, empleados en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son:

- GSM (*Global System for Mobile Communication*).
- Celular PCS/IS-136, conocido como TDMA (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) Sistema regulado por la Telecommunications Industry Association o TIA.
- IS-95/cdmaONE, conocido como CDMA.
- D-AMPS Digital Advanced Mobile Phone System.
- PHS (Personal Handyphone System) Sistema utilizado en un principio en Japón por la compañía NTT DoCoMo con la finalidad de tener un estándar enfocado más a la transferencia de datos que el resto de los estándares 2G.

#### **1.4.4. Tercera Generación (3G).**

Poco tiempo después de haberse introducido las redes 2G se comenzaron a desarrollar los sistemas 3G. Existen varios estándares entre los distintos competidores que intentan que su tecnología sea la predominante. Hoy en día, la idea de un único estándar internacional se ha visto dividida en múltiples estándares bien diferenciados entre sí, sin embargo, en forma muy diferente a los sistemas 2G, el significado de 3G fue estandarizado por el proceso IMT-2000. Este proceso no estandarizó una tecnología sino una serie de requerimientos (2Mbits de máxima tasa de transferencia en ubicaciones fijas, por ejemplo).



Figura 1.4 Teléfono tecnología 3G.

Las principales características de esta generación son:

- Convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet.
- Apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos
- Soportan altas velocidades de información
- Mp3, video, acceso rápido a Internet, etc [4].

Uno de los estándares de 3G es el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*), tecnología de la misma familia GSM pero más avanzada. UMTS es una tecnología basada en protocolo de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA, *Wideband Code Division Multiple Access*) que proporciona soporte a voz y datos en paquetes, con velocidades de entrega de hasta 2.1Mbps, y velocidades promedio de entre 220 a 320Kbps cuando el dispositivo celular se encuentra en movimiento [2].

CDMA2000 es una familia de estándares de telecomunicaciones móviles de tercera generación (3G), un esquema de acceso múltiple para redes digitales, para enviar voz, datos y señalización entre teléfonos celulares y estaciones base con una velocidad de entrega de datos pico de hasta 2.0Mbps .

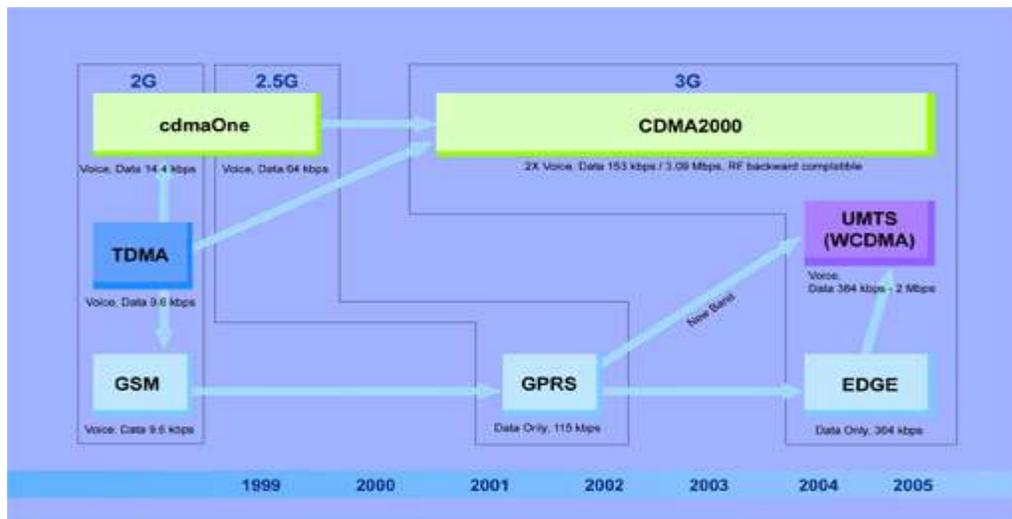


Figura 1.5 Migración desde 2G (cdmaOne) hasta 3G (CDMA2000).

#### 1.4.5 Cuarta Generación (4G).

Hasta el momento en el que se hace esta investigación no existe una definición muy clara sobre 4G, pero sí se puede realizar un acercamiento a sus principales características sobre la base de lo ya establecido en tecnologías anteriores.

La 4G estará basada totalmente en el Protocolo de Internet (IP, *Internet Protocol*) siendo un sistema de sistemas y una red de redes, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos electrónicos entre otros, convergencias para proveer velocidades de acceso entre 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo, manteniendo una Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Services*) de punta a punta de alta seguridad para poder ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo costo posible.

Siguiendo la evolución por el camino de los estándares GSM/GPRS/UMTS el correspondiente a la cuarta generación sería Evolución a Largo Plazo LTE (Long Term Evolution). Con ese estándar se alcanzará en teoría velocidades de transmisión de datos entre 50Mbps y 100Mbps. A la hora de comparar el estándar de 4G de CDMA, correspondería analizar a Ultra Móvil de Banda Ancha UBM (Ultra Mobile Broadband), este presenta una velocidad de transmisión de datos de hasta 235Mbps en teoría por lo que sería superior a LTE.

La 4G se podría definir también como una red que funcione en la tecnología de Internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como Fidelidad Inalámbrica (Wi-Fi, *Wireless Fidelity*) e Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*). La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata.

### **1.5. Reseña Histórica sobre el surgimiento de CDMA2000.**

Su origen se remonta a principios de la segunda guerra mundial, cuando se utilizó con gran eficiencia con el fin de proteger las comunicaciones militares del espionaje enemigo. CDMA se convirtió en el estándar más importante para las comunicaciones militares por satélite en el decenio de 1970 y 1980 y es utilizado por las actuales redes de satélites de órbita baja. En el sistema CDMA, cada usuario tiene asignado un único código de secuencia (secuencia de la firma).

El desarrollo de comunicaciones inalámbricas digitales en América del Norte se inició en 1990. Nuevos sistemas de transmisión digital, tales como la IS-136, se despliegan y el algoritmo utilizado en la transmisión de estos sistemas también se basa en TDMA. Pero no fue hasta 1993 que los sistemas celulares digitales basados en esta tecnología se desplegaron en los EEUU aplicado de acuerdo a la norma 95 (IS-95). Desde entonces, la tecnología CDMA se ha sometido a diversas fases de desarrollo y las revisiones de los datos para aumentar la velocidad y mejorar la capacidad del sistema y el rendimiento [1].

CDMA2000 ha tenido relativamente un largo historial técnico, y aún sigue siendo compatible con los antiguos estándares en telefonía CDMA (como cdmaOne) primero desarrollado por Qualcomm, una compañía comercial, y propietario de varias patentes internacionales sobre la tecnología.

Los estándares CDMA2000, CDMA2000 1x, CDMA2000 1xEV-DO, y CDMA2000 1xEV-DV son interfaces aprobadas por el estándar ITU IMT-2000 y un sucesor directo de la 2G CDMA, IS-95 (cdmaOne).

CDMA2000 es una marca registrada de la TIA en los Estados Unidos, no del término genérico CDMA. (Similarmenete Qualcomm bautizó y registró el estándar 2G basado en CDMA, IS-95, como cdmaOne).

A continuación se relacionan los diferentes tipos de CDMA2000, en orden de complejidad ascendente:

- **CDMA2000 1x**
- **CDMA2000 3x**
- **CDMA2000 1xEV-DO**
- **CDMA2000 1xEV-DV**

**CDMA2000 1x**, el núcleo del estándar de interfaz inalámbrica CDMA2000, es conocido por muchos términos: 1x, 1xRTT, IS-2000, CDMA2000 1X, 1X, y cdma2000 (en minúsculas). Mientras 1xRTT es calificado oficialmente como una tecnología 3G, 1xRTT es considerado por algunos como una tecnología 2.5G (o a veces 2.75G). Esto ha permitido que sea implementado en el espectro 2G en algunos países limitando los sistemas 3G a ciertas bandas [5].

Las principales diferencias entre la señalización IS-95 e IS-2000 son: el uso de una señal piloto sobre el enlace de bajada del IS-2000 que permite el uso de una modulación coherente, y 64 canales más de tráfico sobre el enlace de subida de manera ortogonal al conjunto original. Algunos cambios también han sido realizados a la capa de enlace de datos para permitir un mejor funcionamiento de los servicios de datos IS-2000 como protocolos de control de accesos a enlaces y control QoS. En IS-95, ninguna de estas características han estado presentes, y la capa de enlace de datos básicamente consistía en un "mejor esfuerzo de entrega". En este orden siguió siendo utilizado para voz.

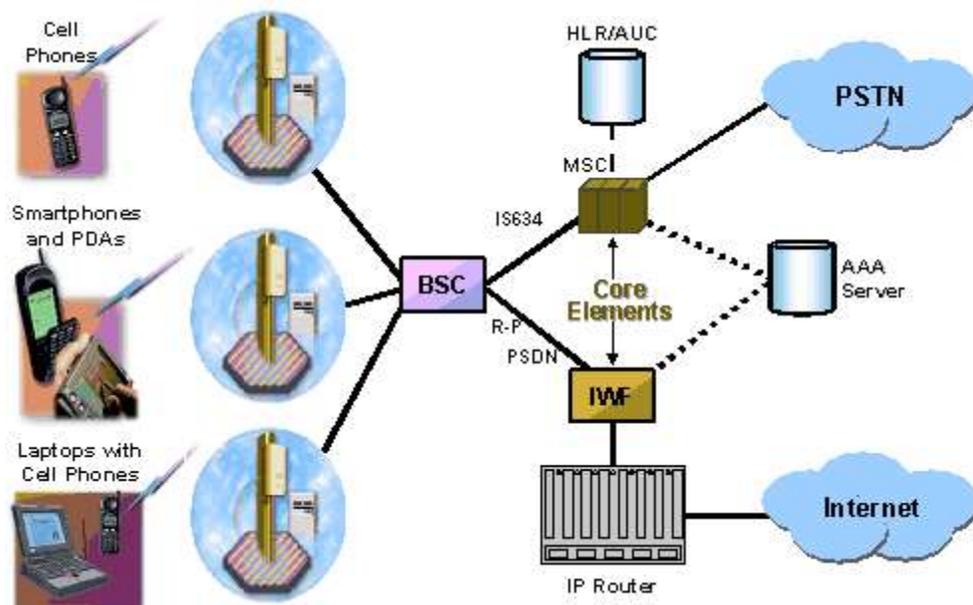


Figura 1.6 Diagrama de red CDMA2000

**CDMA2000 3x**, utiliza un par de canales de 3,75-MHz para alcanzar mayores velocidades de datos. La versión 3x de CDMA2000 es algunas veces referida como Multi-Carrier o MC [5]. Esta a su vez no ha sido implementada y no está en desarrollo hasta el momento de la elaboración de este trabajo.

**CDMA2000 1xEV-DO** (1x Evolution-Data Optimized), también referido como 1xEV-DO, es una revisión de CDMA2000 1x con una alta velocidad de datos (HDR, *High Data Rate*) y donde el enlace de bajada es multiplexado mediante división de tiempo. Este estándar de interfaz 3G ha sido denominada IS-856.

CDMA2000 1xEV-DO en su última revisión, Rev A, soporta una velocidad de datos en el enlace de bajada de hasta 3,1Mbps y una velocidad de datos en el enlace de subida de hasta 1,8Mbps en un canal de radio dedicado a transportar paquetes de datos de alta velocidad. Esta tecnología fue primero desarrollada en Japón y sigue siendo desarrollada en Norteamérica desde el 2006. Esta revisión de CDMA2000 presenta un valor máximo en la velocidad del enlace de bajada de 2,5Mbps y un valor máximo en la velocidad del enlace de subida de 154Kbps y el canal de banda ancha es de 1,25MHz [2].

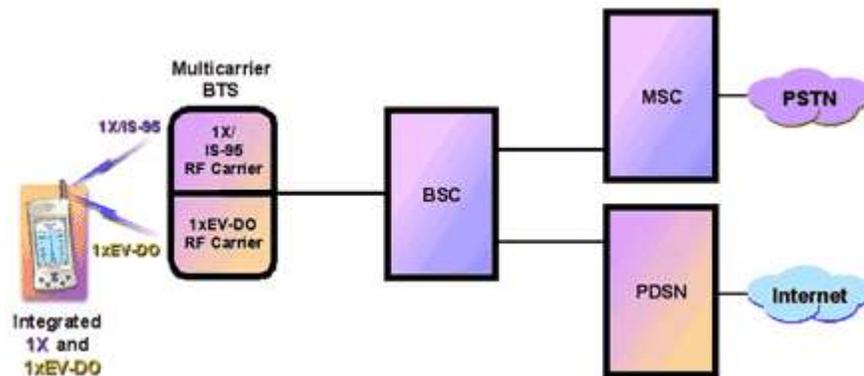


Figura 1.7 Diagrama de red CDMA2000 1xEV-DO.

**CDMA2000 1xEV-DV** (1x Evolution-Data/Voice), soporta una velocidad en el enlace de subida de hasta 3,1Mbps y una velocidad en el enlace de bajada de hasta 1,8Mbps. 1xEV-DV también puede soportar una operación concurrente con los usuarios de voz 1x, usuarios de datos 1x y usuarios de datos de alta velocidad 1xEV-DV en el mismo canal de radio [7].

## 1.6 Arquitectura CDMA2000.

La arquitectura CDMA2000 posibilita la conexión con las redes públicas y privadas, desde y hacia el cliente móvil, esto brinda la posibilidad al mismo de tener acceso a datos desde cualquier ubicación. La red está compuesta por un conjunto de estaciones bases, que son controladas por una estación controladora. Las comunicaciones telefónicas son conmutadas por una central (MSC) que se encarga de conectar al sistema de red telefónica. El acceso a la red de datos en paquetes es suministrado por el Nodo de Servicio de Datos por Paquetes (PDSN), que brinda servicios de datos a los clientes.

### 1.6.1 Paquetes Nodo de servicio de datos (PDSN).

Es un nuevo elemento asociado con el sistema CDMA2000. El propósito de PDSN es permitir servicios de paquetes de datos y desarrollar las siguientes funciones mientras se lleva una sesión de paquetes de datos:

- Establecer, mantener y terminar sesiones de protocolo punto a punto (PPP) con el usuario.

- Iniciar Autenticación, Autorización, Registro para el cliente móvil al servidor AAA.
- Permitir ambos servicios de paquetes simples e IP móvil.
- Recibir parámetros de servicio para el cliente móvil desde el servidor AAA.
- Rutear paquetes para y desde redes externas de paquetes [8].

### **1.6.2. Authentication, Authorization, Accounting (AAA).**

El AAA es un nuevo componente asociado con cdma2000. El AAA provee, autenticación, autorización, y servicios de contabilización (accounting) para las redes de paquetes de datos asociadas a cdma2000. AAA se comunica con PDSN vía IP y desarrolla las siguientes funciones.

- Autenticación asociada con las conexiones IP y PPP.
- Autorización, administración y distribución de claves de seguridad
- Contabilización [8].

### **1.6.3. Home Agent (HA).**

El Home Agent (HA, Agente local), desarrolla varias tareas algunas son rastrear la localización del suscriptor IP móvil cuando este se mueve de una zona de paquetes a otra. En el rastreo del móvil, el HA asegurará que los paquetes sean enviados a ese mismo móvil [8].

### **1.6.4. Ruteador.**

El ruteador tiene la función de enrutar paquetes para y desde varios elementos de red dentro del sistema CDMA2000. También es responsable de enviar y recibir paquetes para y desde la red interna a otras plataformas [8].

### **1.6.5. Mobile Station (MS, Estación Móvil).**

Está compuesta por el equipo móvil y este realiza funciones tales como: transmisión por radio, gestión de canales, codificación de voz, protección contra errores y gestión de movilidad.

#### **1.6.6. MSC (Centro de Conmutación Móvil).**

El MSC es el encargado de establecer y terminar los servicios de voz para los terminales CDMA dentro de su área de servicio, interconexión con otras redes públicas, monitoreo de la red, funciones de contabilidad para su posterior facturación, a través de un Servidor AAA.

La cantidad de MSC que pueden existir en una red celular depende en gran medida de la cantidad de abonados y del tráfico existente, pueden ser uno o varios. El MSC posee una interfaz con la red telefónica pública. La gestión de movilidad en el MSC para el soporte de handoff y roaming en una red celular está apoyada por dos bases de datos: el Registro de Localización Local y el Registro de Localización del Visitante.

#### **1.6.7. HLR (Registro Local).**

El HLR es una base de datos que contiene la información del usuario (suscriptor) tal como información de la cuenta, estado de cuenta, preferencias del usuario, características suscritas por el usuario, localización actual del usuario, etc. Los datos almacenados en HLR para los diversos tipos de redes son similares pero se diferencian en algunos detalles. Los HLR son utilizados por los centros de conmutación móviles (MSC Mobile Switching Center) para originar y entregar llamadas del suscriptor.

#### **1.6.8. VLR (Visitor Location Register).**

El VLR es una base de datos, similar a un HLR, que es utilizada por la red móvil para llevar a cabo temporalmente perfiles de los usuarios que salen fuera de su área de cobertura. Estos datos de VLR se basan en la información del usuario recuperada de un HLR. Los MSC utilizan los VLR para manejar el roaming de los usuarios.

#### **1.6.9. Base Transceiver Station (BTS, Estación Base Transceptora).**

BTS, controla muchos aspectos del sistema que están relacionados directamente con el desempeño de la red, algunos de los puntos que controla el BTS son las portadoras múltiples que operan en el sitio, la potencia del enlace de bajada, y la asignación de los códigos Walsh [8].

### 1.6.10. Base Stations Controller (BSC, Controlador de Estación Bases).

La BSC es la parte de la infraestructura del sistema inalámbrico que controla una o varias estaciones base bajo su dominio. Realiza funciones de gestión de señal de radio para las BTS, la gestión de funciones tales como la asignación de frecuencias y handoff. La BSC es responsable del enrutado de los paquetes para y desde BTS al PDSN [8].

### 1.6.11. Radio Network (RN).

Enruta los paquetes de datos IP entre la estación móvil dentro de las celdas y el PDSN. Durante las sesiones de paquetes de datos, este asignará tantos canales suplementarios como sean necesarios para cumplir con los requerimientos del servicio para el móvil y lo pagado por el suscriptor. Se comunica con el RRC para pedir y administrar los recursos de radio en relación a la transmisión de paquetes, desde y hacia la estación móvil. Informa sobre el estatus de los recursos de radio y almacena los paquetes que llegan del PDSN (encola los paquetes), cuando los recursos de radio son insuficientes para soportar el flujo del PDSN. [8].

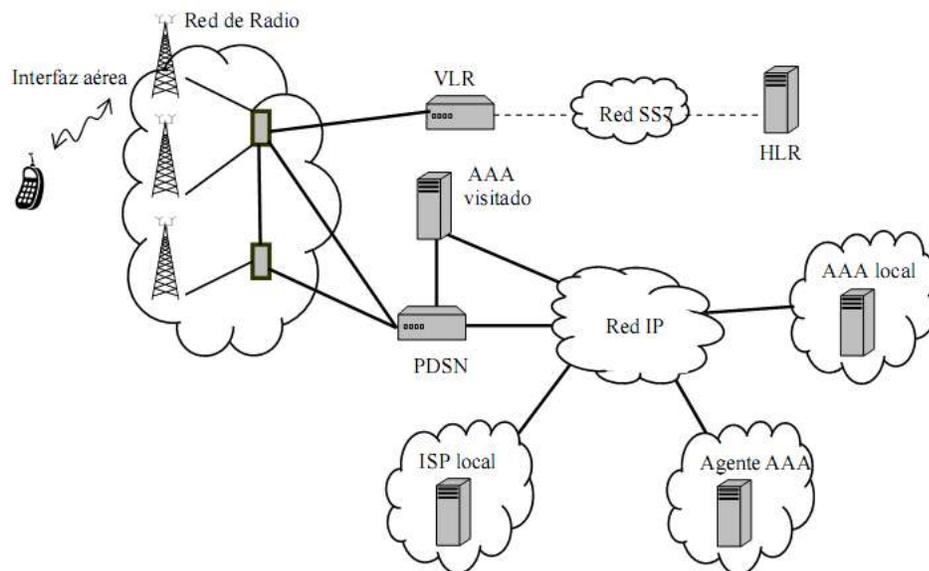


Figura 1.8. Arquitectura del Núcleo de Red de Paquetes (PCN) de CDMA2000.

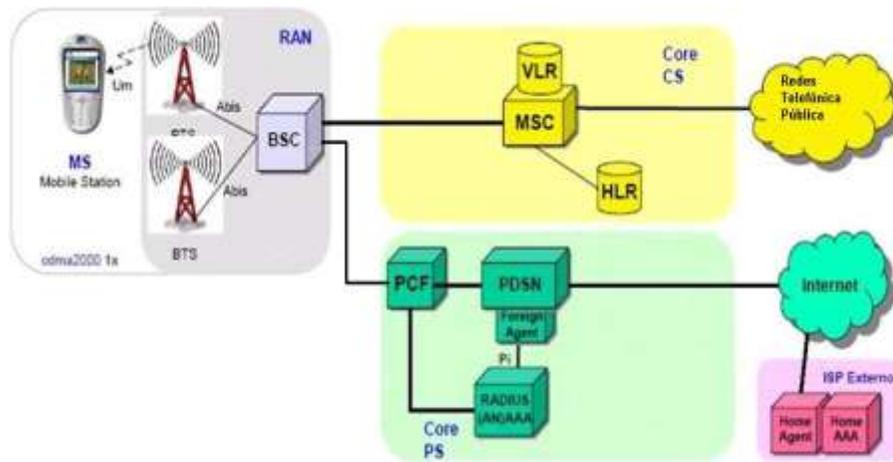


Figura 1.9 Arquitectura de Red CDMA2000.

## 1.7 Estado del arte de CDMA2000.

### 1.7.1 Estado de CDMA2000 internacional.

En la actualidad CDMA2000 tiene un dominio en el mercado internacional de 3G, al poseer el 64% de abonados. Con una tasa creciente de un 8.5 millones de usuarios por mes. Cuentan además con 179 operadores que manejan este tipo de red en 76 países de todo el mundo, CDMA2000 está en vías de alcanzar los 500 millones de abonados este año (2009).

Financieramente los operadores ya están empezando a ver resultados positivos provenientes de las prestaciones de servicios con CDMA2000 1X. Morgan Stanley informó que CDMA2000 ofrece un incremento de casi cinco veces en los ingresos provenientes de los servicios de transmisión de datos y una facturación total por abonado de más del 50%.

En despliegues comerciales, CDMA2000 1X proporciona una velocidad de transmisión de datos entre 60 y 100kbps, en tanto que 1xEV-DO proporciona velocidades entre 500 y 1,200kbps. En contraste, las redes comerciales de GPRS ofrecen velocidades de datos entre 20 y 40kbps y algunas investigaciones

muestran velocidades de apenas 10Kbps en los Estados Unidos. La red WCDMA de NTT DoCoMo ofrece una velocidad de datos de 64kbps. El volumen de datos transmitidos por unidad de tiempo (throughput) (velocidad de transmisión de datos), impacta directamente sobre los tipos de aplicaciones que puede ofrecer un operador inalámbrico y por ello, influye de forma significativa sobre las posibles fuentes de ingresos provenientes de los servicios de datos. Así, mientras que GSM y GPRS pueden permitir sólo aplicaciones simples como SMS, micronavegación en WAP y multimedios limitados, CDMA2000 permite al operador entregar todo un paquete de mensajes multimedios, navegación por la Web, aplicaciones corporativas y transmisión de audio y video [7].

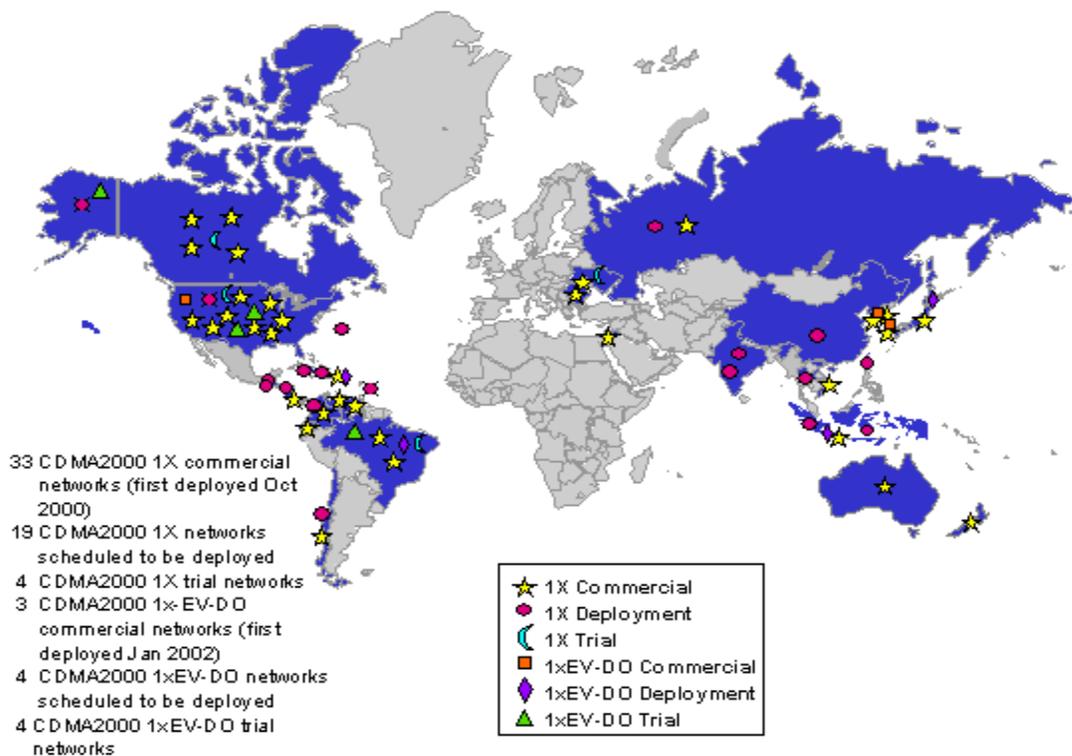


Figura 1.10 Despliegue de CDMA2000

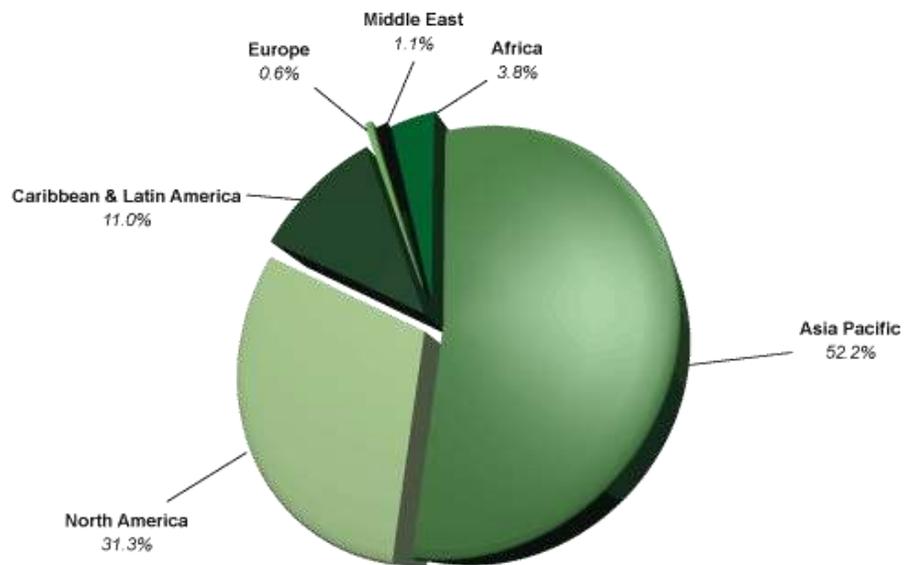


Figura 1.11 Porcentaje Total de suscritos de 3G-CDMA2000 por región.

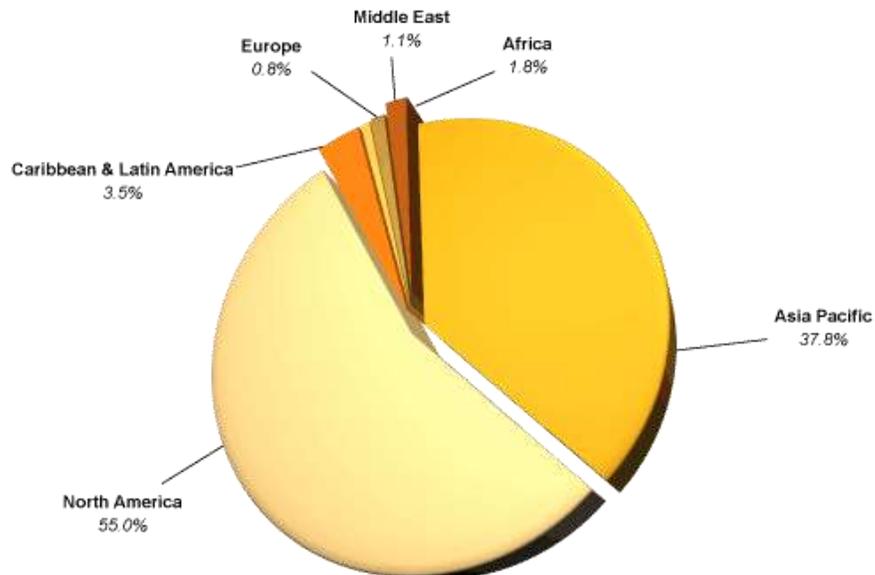


Figura 1.12 Porcentaje Total de suscritos de 3G-CDMA2000 1xEV-DO por región.

- CDMA2000 alcanzó los 463 millones de usuarios a fines del 2008.
- CDMA2000 representa el 64% del mercado de 3G en el mundo.

- EV-DO es la tecnología de banda ancha líder con 105 millones de usuarios a fines del 3Q 2008, y su adopción está creciendo a una tasa anual de cerca del 27%.
- EV-DO representa el 62% de todos los usuarios de banda ancha móvil a nivel mundial.
- CDMA2000 continuará creciendo fuertemente, llegando a los 700 millones de suscriptores para el año 2012 [7].

### 1.7.2 Estado de CDMA2000 regional.

Evidentemente, el factor económico es uno de los más determinantes cuando se valora la posibilidad de migrar hacia nuevas tecnologías. Sin embargo, cuando se trata de telefonía celular, otro aspecto muy importante es la cobertura geográfica.

Debido a que la región de Sudamérica ha sido considerada durante mucho tiempo un bastión de TDMA, a veces resulta fácil pasar por alto el hecho de que en la actualidad hay 28 operadores de 15 países en CALA que brindan servicios CDMA a 26 millones de abonados. Además, 5 operadores latinoamericanos Centennial de Puerto Rico, Telefónica Celular y Telesp Celular de Brasil, Smartcom PCS de Chile y Movilnet de Venezuela - ya han lanzado redes CDMA2000 1X de alta velocidad. Se espera que otras 8 redes CDMA2000 1X estén funcionando en la región para fines de 2003; 3 de ellas son operadores TDMA que migran a CDMA2000.

Con más de 80 millones de abonados y redes en los mercados claves para roaming en Sudamérica y Norteamérica, los operadores de TDMA que migran a CDMA2000 pueden compartir los ingresos provenientes de roaming en la región. Las redes cdmaOne/CDMA2000 también se encuentran en Europa, Oriente Medio, África y, por supuesto, Asia-Pacífico, con más de 55 millones de abonados CDMA.

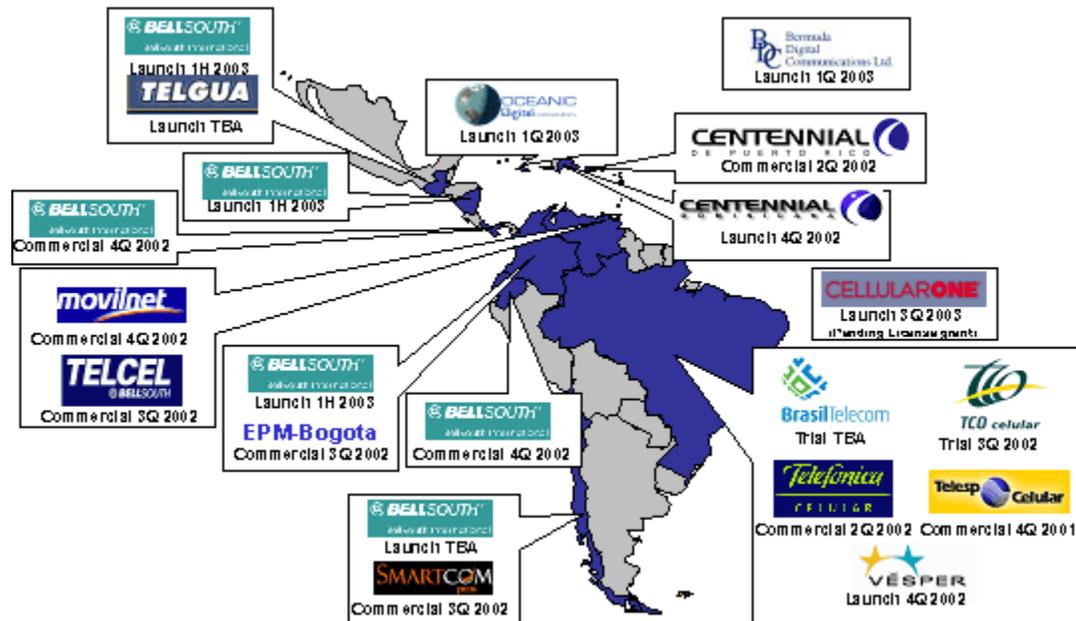


Figura 1.13 Proveedores de CDMA2000 en América Latina.

América Latina y el Caribe han desplegado más redes CDMA2000 que cualquier otra región del mundo. VIVO (antes Telesp Celular) desplegó la primera tecnología 3G, la red CDMA2000 1X en Brasil en diciembre de 2001, ofreciendo a sus abonados una serie de nuevos servicios multimedia móviles. Existe además un creciente interés en CDMA2000 1xEV-DO en la región. El primer CDMA2000 1xEV-DO se desplegó por Vesper en Brasil en abril de 2003, este ofrece acceso inalámbrico de banda ancha a velocidades superiores a ADSL y cable módem. Existen 11 países que utilizan CDMA2000 1xEV-DO de redes, entre ellos Brasil, Perú, Guatemala, Venezuela y Chile, otros más están en proceso de despliegue [7].

CDMA es una plataforma ideal para cubrir todas las necesidades de telecomunicaciones de América Latina y el Caribe. Con la explosión de la demanda de servicios de voz y datos para los mercados en desarrollo, los operadores se ven forzados a abarcar tanto los centros urbanos densamente poblados como las grandes zonas rurales, y ofrecer servicios de forma rápida y rentable. La eficiencia espectral de CDMA permite a los operadores ofrecer servicios de voz para el mercado masivo, al mismo tiempo que funciona en varias bandas de frecuencia (450MHz, 800MHz, 1900MHz y 2100MHz) que permite la

reutilización del operador actual del espectro y es una plataforma ideal sobre la que implementan la introducción de servicios avanzados.

CDMA2000 es líder en el mercado 3G en América Latina y el Caribe, con más de 23 millones de suscriptores. Hoy en día, la región tiene más de 58 millones de usuarios CDMA, casi una cuarta parte de los suscriptores en la región. América Latina es una de las regiones de más rápido crecimiento para las tecnologías CDMA, con la creciente base de abonados, en un 37% anual. Estas alentadoras cifras demuestran que en el área geográfica es una de las tecnologías que consta con mayor respaldo en el mercado.

Los gobiernos, los reguladores y proveedores de servicios en muchos países del área, ponen a prueba el despliegue de CDMA2000 1X para proporcionar servicios de telefonía básica y acceso a Internet en las zonas subatendidas.

A medida que CDMA2000 aumenta su historial, está cada vez más claro que esta tecnología de 3G ha cumplido con su promesa de brindar la solución mundial más efectiva desde el punto de vista económico y más eficiente en cuanto al uso del espectro tanto para los servicios de voz como de datos, al mismo tiempo que brinda ofertas más económicas a los usuarios finales. La promesa de CDMA2000 es real: la tecnología está acá y ahora, proporcionando un camino migratorio claro que conducirá a los operadores hacia un futuro beneficioso y exitoso.

### **1.7.3 Estado de CDMA2000 en Cuba.**

Esta tecnología no está desplegada en el territorio nacional. A pesar de ser patentada por una empresa norteamericana se recomienda a las entidades o individuos que corresponda hacer los estudios pertinentes para la posible migración hacia ella.

En Cuba el sistema que existe es GSM y de continuar la evolución por este estándar le correspondería UMTS el cual es más costoso que CDMA2000 [7].

CDMA2000 es una tecnología eficiente y robusta. Ofrece la más alta capacidad de voz y datos utilizando la menor cantidad de espectro, y puede ser utilizado para prestar servicios en las zonas urbanas, así como las zonas remotas de manera rentable.

### **1.8 Gestión de la Localización en CDMA2000.**

La localización de terminales CDMA2000 es un servicio ofrecido por las empresas operadoras de telefonía móvil que permite determinar, con una cierta precisión, donde se encuentra físicamente un terminal móvil determinado.

Todos los métodos que se describirán en el siguiente capítulo están basados en la tecnología para redes móviles terrestres. La información sobre localización siempre ha estado presente en redes celulares, ya que es necesaria para el establecimiento y mantenimiento de una comunicación, pero inicialmente no era accesible fuera de los nodos de red. En la actualidad se han introducido los elementos necesarios para que sea accesible fuera de los nodos de la red. Los servicios de localización contribuyen un medio para salvar vidas, ayudan al desarrollo didáctico, promocionan el referente cultural y brindan comodidades a los viajeros, es por ello que los LBS han ganado un lugar en el mercado internacional de la 3G.

### **1.9 Conclusiones.**

En este capítulo se llevó a cabo una investigación sobre la evolución de la telefonía celular así como la situación mundial de la tecnología CDMA2000 a distintos niveles geográficos. Se investigó además sobre lo referente a los elementos que componen la arquitectura en redes CDMA2000.

## **CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE LA LOCALIZACIÓN EN CDMA2000.**

### **2.1. Introducción.**

A lo largo de este capítulo se analizará el concepto de localización y se estudiarán los métodos de localización que pueden ser empleados en una red CDMA2000. Para hacer más fácil y organizado el estudio de estos métodos se han clasificado de acuerdo a las distintas técnicas que utilizan en su funcionamiento:

- Técnicas basadas en identidad celular.
- Técnicas basadas en la red.
- Técnicas basadas en la modificación del terminal móvil.
- Técnicas basadas en internet.

### **2.2. Localización.**

Para utilizar y entender las técnicas de localización es importante conocer el significado de este término. Aunque la mayoría de las personas dirían que conocen el concepto de localización, es necesario hacer un estudio con mayor profundidad y de esta manera conocer y distinguir las diferentes categorías de información de localización.

#### **2.2.1 Categorías de Localización.**

Básicamente, el término “localización” es asociado con la ubicación exacta de algo en un momento determinado. Cuando las personas hacen citas, acuerdan encontrarse en un cierto lugar en un determinado momento, tales como el aeropuerto, un bar, o una oficina. En otras situaciones, tienen que informar la ubicación de su domicilio, por ejemplo, para recibir correspondencia escrita o directivas oficiales. Estos tipos de localizaciones pertenecen a la clase de las localizaciones físicas.

Recientemente, con el desarrollo de Internet, ha surgido una razón para introducir otro concepto de localización. Internet ha creado un amplio número de nuevas aplicaciones que han cambiado la forma en que las personas reciben la información o interactúan entre ellas. En esta área, el término *localización*

tiene en ocasiones otro significado y se refiere a un lugar de encuentro virtual, por ejemplo, un sitio web, una sala de chat, o un campo compartido por varios jugadores de un juego de computadora distribuido. Estas localizaciones son generalmente conocidas como localizaciones virtuales [8].

Los métodos de localización predominantemente son las localizaciones físicas, y no conocen el concepto de localizaciones virtuales.

La localización física puede ser descompuesta en las tres sub-categorías siguientes, las cuales son relevantes para la utilización y la comprensión de las técnicas de localización:



**Figura 2.1 Categorías de la Localización.**

### **2.2.1.1 Localizaciones descriptivas.**

Una localización descriptiva está siempre relacionada a objetos geográficos naturales como territorios, montañas, lagos, zonas geográficas, fronteras, ciudades, países, caminos, edificaciones y apartamentos. Estas estructuras son localizadas por descripciones, es decir, nombres, identificadores, o números desde donde esta categoría de localización ha derivado su nombre. De esta manera la localización descriptiva es un concepto fundamental de la vida diaria, que es utilizado por las personas para acordar citas, la navegación, o la entrega de artículos y correspondencia escrita en lugares bien definidos. Sin tener organizado nuestro entorno e infraestructura mundial según descripciones bien definidas de los objetos geográficos, las personas vagarían sin orientación.

### **2.2.1.2 Localizaciones espaciales.**

Una localización espacial representa un solo punto en el espacio Euclidiano. Otro término más intuitivo para la localización espacial es por consiguiente la posición. La misma, es expresada usualmente por medio de 2 ó 3 coordenadas dimensionales, que son dadas como un vector de números, cada uno de ellos fija la posición en una dimensión. A diferencia de la localización descriptiva, las posiciones no son empleadas en nuestra vida diaria, porque las personas prefieren orientarse en términos de objetos geográficos en lugar de utilizar coordenadas. Sin embargo la localización espacial es indispensable para aplicaciones profesionales como la navegación y el transporte marítimo, las cuales dependen de la disponibilidad de información precisa de localización. El concepto de localización espacial también provee la base para levantar planos y trazar mapas de las localizaciones descriptivas [8].

### **2.2.1.3 Localizaciones de Red.**

Las localizaciones de red se refieren a la topología de una red de comunicaciones, por ejemplo, Internet o un sistema celular. Estas redes están compuestas de muchas redes locales, en ocasiones también referidas como subredes, conectadas entre ellas por una topología jerárquica de circuitos troncales y *backbones*. El servicio que se brinda en estas redes asume que la localización del dispositivo del usuario con respecto a la topología de red es conocida. Esto es logrado por las direcciones de red que contienen información de enrutamiento, en combinación con servicios de directorio, para trazar mapas de números, identificadores, o nombres de otro diseño sobre las direcciones de red. Por ejemplo, en Internet una localización de red se refiere a una red local que está identificada por medio de su dirección IP. En redes móviles, por otro lado, una localización de red está relacionada a una estación base a la que un terminal móvil está conectado en un momento determinado [8].

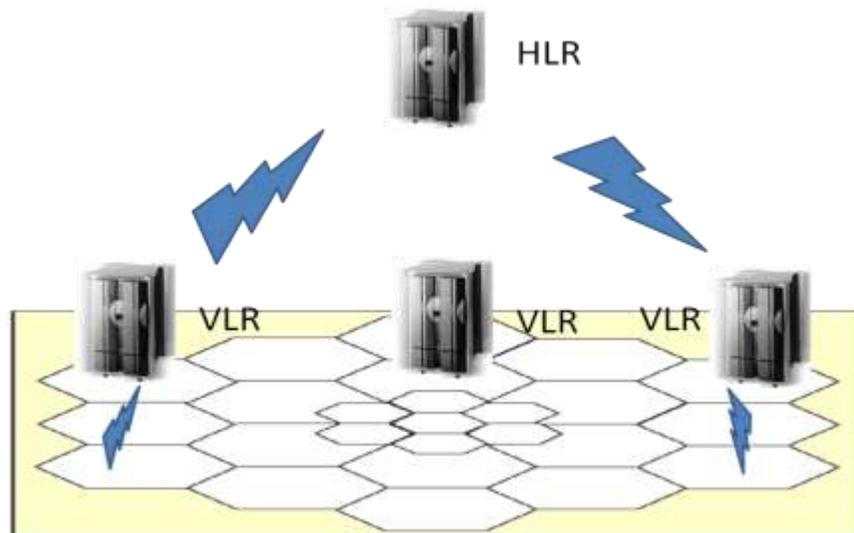
## **2.3 Gestión Básica de la Localización en Sistemas de Comunicaciones Móviles.**

### **2.3.1 Localización básica (conmutación de circuito).**

En los sistemas de comunicaciones móviles, las llamadas entrantes a cada terminal móvil deben entregarse con el menor retardo posible, y a la vez con el menor costo de señalización. Puesto que los terminales son móviles, es necesario realizar un seguimiento de los mismos para poder encontrar la celda

donde se encuentra cada terminal móvil. En estos sistemas, para mantener localizables los terminales móviles, se emplea una base de datos jerárquica de dos niveles formados por el HLR y varios VLRs [11].

La actualización de posición se puede dividir en dos pasos. El primero, también llamado actualización de posición, consiste en el envío de mensajes de actualización de posición por parte del terminal móvil. En este caso, la señalización asociada utiliza por lo tanto recursos de la interfaz radio, es decir, de la red de acceso. La red fija proporciona el soporte necesario para la señalización asociada al segundo paso; el registro de posición está constituido por el conjunto de procesos encargados de actualizar la base de datos del sistema con arreglo a los mensajes de actualización de posición enviados por los terminales móviles. El registro de posición se traduce en escrituras y lecturas en el HLR y los VLR.



**Figura 2.2 Proceso de redireccionamiento del Móvil.**

1. Cuando un móvil entra en el rango de una celda perteneciente a una nueva área de localización, se le asigna una dirección.
2. Esta dirección se envía al nuevo VLR y obtiene del antiguo VLR los parámetros de autenticación.
3. El nuevo VLR envía un mensaje al HLR para actualizar la ubicación del móvil, el HLR responde con la información necesaria para manejar la llamada.

4. El VLR genera una nueva dirección y se la envía al móvil, el cual confirma la recepción.
5. Después del paso 3 el HLR envía un mensaje al antiguo VLR, el cual cancela el registro y le confirma la cancelación al HLR.

### **2.3.2 Localización básica (conmutación de paquetes).**

Uno de los protocolos clásicos encargados de solucionar el traspaso es Mobile IP (MIP), Bajo este ambiente, Mobile IP, utiliza los conceptos de red local o de casa, la cual se refiere a la red de origen del usuario, aquella en donde está suscrito y por ende están registrado sus datos de usuarios y el perfil de servicio a los que tiene derecho. También utiliza el concepto de red visitada, que es propiamente cualquier red distinta a su red origen, pudiéndose encontrar cerca o distante a través de internet. Mobile IP define dos Agente de Movilidad (MA, Mobility Agent): el Agente local (HA, Home Agent), ubicado en la red de origen; y el Agente Foráneo (FA, Foreign Agent), ubicado en la red visitada para un determinado usuario móvil. Cada vez que el nodo móvil (NM) cambia de punto de acceso (en la red visitada), obtiene una dirección temporal llamada Dirección de Entrega (CoA, Care of Address) de un FA directamente conectado a su punto de acceso. La presencia de un FA en particular, puede ser detectada vía los mensajes de aviso FA, que son extensiones de Protocolos de Mensajes de Control de Internet (ICMP, Internet Control Message Protocol). Estos mensajes son enviados a intervalos regulares de tiempo por el FA. El NM también puede mandar peticiones solicitando al FA que transmita sus mensajes de aviso. Cada vez que el FA entrega una CoA a un nuevo NM, debe insertar una etiqueta para este móvil en una tabla dedicada llamada lista de visitante.

Una vez que el NM ha obtenido su nueva CoA debe informar a su HA de su nueva dirección usando un proceso de registro. Tan pronto como el HA es informado de la actual CoA del NM, intercepta los paquetes recibidos en la red de origen dirigidos al NM y crea un túnel (la elaboración de un túnel en reempaquetar o encapsular los paquetes originalmente recibidos desde el nodo correspondiente CN (Correspondant Node) que intenta comunicarse con el NM desde cualquier parte de la red; se les agrega como dirección fuente la del HA, y como dirección destino la del FA) para enviarlos al FA, allí el FA los desencapsula y se los envía al NM.

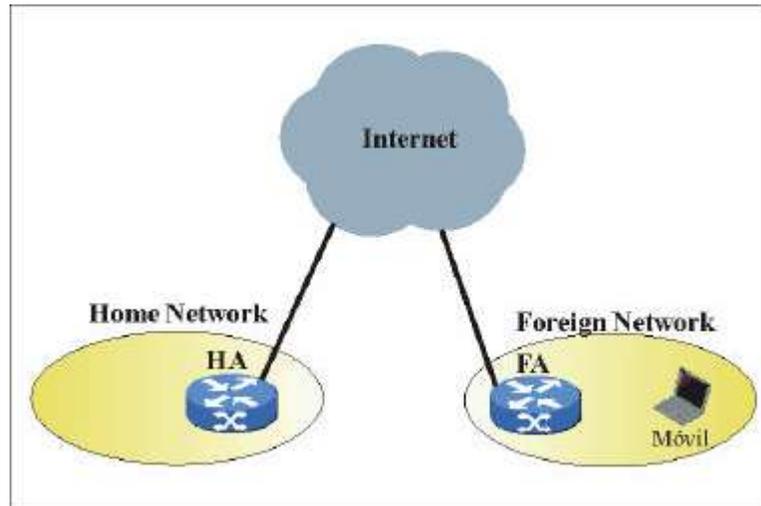


Figura2.3 Estructura general de una red y equipos asociados a la utilización del protocolo Mobile IP.

## 2.4 Sistemas de Localización.

Las tecnologías móviles basadas en la posición brindan enormes posibilidades para el suministro de los nuevos servicios y aplicaciones inalámbricas. Entre las posibles aplicaciones figuran servicios de emergencias tales como los E911 en Estados Unidos y los E112 en Europa, los servicios comerciales de usuario final (por ejemplo, páginas amarillas locales), servicios empresariales, entre los cuales se suele citar la gestión de flotas de transporte y la optimización de redes (por ejemplo, transferencias con ayuda de la posición).

Llamar a un taxi de un aeropuerto sin saber el número local o llamar a una ambulancia tras presenciar un accidente de tráfico en una zona remota sin conocer la posición en que se está, localizar una calle descongestionada para evitar un embotellamiento de tráfico o averiguar, pulsando un botón, dónde se encuentra el espacio de estacionamiento disponible más cercano, son sólo unas cuantas de las muchas prestaciones de los servicios basados en la posición que explican el interés que han despertado. La mayoría de estos servicios comparten una característica común que los diferencia de los servicios inalámbricos propiamente dichos: basarse en el conocimiento de la posición del usuario para prestarle el servicio que solicite. Dado el alcance mundial de los sistemas *IMT-2000* (nombre con el cual la UIT ha

bautizado la tercera generación (3G) de las comunicaciones móviles personales), la creciente importancia de los servicios basados en la posición hace imperativo armonizar los reglamentos nacionales en el caso de las comunicaciones de emergencia, garantizar el interfuncionamiento, gracias a la aplicación de normas técnicas convenidas mundialmente, con el fin de permitir la itinerancia por lo menos en el caso de un conjunto básico de estos servicios y abordar los complejos problemas jurídicos que suscitan la responsabilidad jurídica y los derechos de privacidad [9].

La meta de la localización vía radio de un terminal móvil es posicionar al mismo en el plano con cierto grado de precisión para saber con exactitud dónde se ubica. Para ello se emplea una red radioeléctrica que facilita por medio de ciertos equipos de su infraestructura, la información suficiente para realizar cálculos que lleven a obtener las coordenadas del terminal implicado.

La posibilidad de localización de un terminal móvil ya ha dado lugar a numerosos servicios de información, rastreo, selección de rutas y gestión de recursos. Básicamente existen cuatro tipos de servicios de localización móvil:

- Servicios por activación automática (*Trigger Services*): se inician cuando el usuario entra en un área determinada. Son adecuados para aplicaciones publicitarias o de facturación.
- Servicios de información basados en la posición (*Location-based Information Services*): el usuario del servicio demanda información de algún tipo, que varía según su posición. Esta clase de servicios son los que ofertan actualmente las operadoras de telefonía móvil. Muchos de ellos permiten encontrar establecimientos cercanos al demandante de información.
- Servicios de seguimiento por terceros (*Third Part Tracking Services*): contemplan tanto aplicaciones corporativas como de consumidor, donde la información de la localización es requerida por un tercero. Se pueden utilizar para gestión de flotas, búsqueda de personas, información bursátil y asesoramiento rápido.
- Servicios de asistencia al usuario final (*End User Assistance Services*): están diseñados para proveer al usuario de unas condiciones de red segura si este se encuentra en dificultades.
- Servicios de asistencia en carretera u otros servicios de emergencia están dentro de este grupo.

El proceso de localización ha de llevarse a cabo independientemente de que el terminal móvil esté al aire libre o se encuentre en el interior de un edificio. Las técnicas que se emplean son diferentes y dependen en gran medida de la precisión con que se deba encontrar al usuario. Por este motivo, se abordarán en los siguientes epígrafes de manera detallada los métodos que más se usan. De todas maneras, tanto uno como otros son capaces de encontrar un terminal móvil si la infraestructura es la adecuada, aunque la precisión con que lo harán puede presentar errores mínimos dependiendo del entorno. [11]

También es válido destacar que las operadoras de telefonía móvil suelen utilizar una combinación o variación de uno o más métodos, dependiendo de los servicios que se pretendan ofertar. De esta manera, las técnicas de localización más populares quedan agrupadas en: [10]

Técnicas basadas en identidad celular:

- CGI. (CGI, *Cell Global Identity*)
- Identidad Celular Global Perfeccionada (E-CGI, *Enhanced CGI*).

Técnicas basadas en la red:

- AoA. (AoA, *Angle of Arrival*)
- Tiempo de llegada (TOA, *Time Of Arrival*).
- TDOA. (TDOA, *Time Difference Of Arrival*.)
- Huella Multitrayecto (MF, *Multipath Fingerprint*).
- Triangulación de señal.

Técnicas basadas en la modificación del terminal móvil:

- TOA con terminal modificado.
- Trilateración avanzada de enlace hacia delante (A-FLT, *Advanced Forward Link Trilateration*)

- GPS.
- A-GPS.

Técnicas basadas en internet:

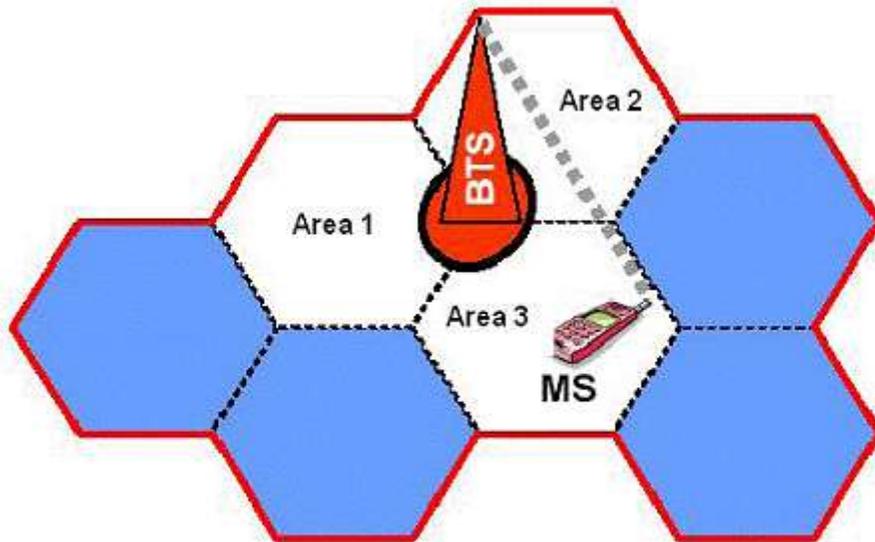
- IP Adrees.
- DNS. (DNS, *Domain Name System*)

## **2.5 Técnicas basadas en identidad celular**

### **2.5.1 Identidad Celular Global.**

Esta técnica de localización (Cell Global Identity-CGI) está disponible sin realizar ninguna inversión ni modificación en red o terminal, pues la posición se obtiene mediante la identidad de la celda en la que se encuentra el terminal móvil. Sirve para ubicar todo tipo de dispositivos móviles en redes GSM, GPRS, UMTS y CDMA. Además, la técnica se puede mejorar fácilmente teniendo en cuenta el parámetro de avance temporal (timing advance - TA), convirtiéndose entonces en una de las técnicas CGI perfeccionadas (Enhanced Cell-ID).

La CGI identifica la célula en la que se encuentra el terminal móvil. El parámetro TA, función del retardo, es una estimación de la distancia desde el terminal móvil a la estación base. El terminal inicia su transmisión en el instante  $T_0 - TA$ , siendo  $T_0$  el instante básico teórico. La medición está basada en el retardo de acceso entre el principio de un intervalo de tiempo y la llegada de las ráfagas del terminal móvil [11].



**Figura 2. 4 Cell-ID.**

La precisión de este método depende del radio de la celda (en el caso de CGI), que puede variar de 50 metros en áreas urbanas a 3km o 4km en áreas rurales. Este es el sistema de localización más utilizado por los operadores, pues es suficiente para ofrecer al usuario cierto tipo de servicios en entornos urbanos, con penetración en el mercado inmediata del 100%. Cuando las redes de tercera generación estén operativas es muy probable que se empleen otros mecanismos más precisos como los que se describen a continuación [11].

### **2.5.2 Identidad Celular Global Perfeccionada.**

Al combinar la técnica de CGI con TA surge la Identidad Celular Global Perfeccionada. El TA es un procedimiento mediante el cual se realiza una estimación de la distancia, en incrementos de 550m, desde el terminal móvil a la estación base. Para ello se miden los retardos de propagación de las señales radioeléctricas que intervienen en la comunicación BTS-MS. Sabiendo que dichas señales viajan a una velocidad cercana a la de la luz y que el retardo de acceso es proporcional a la distancia entre la BTS y el terminal, se puede estimar dicha distancia para trazar una circunferencia sobre la cual se ubicaría el móvil.

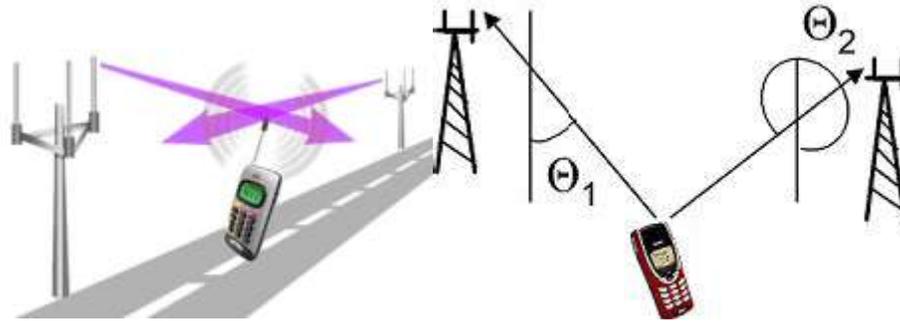
Luego, en la técnica de E-CGI al igual que CGI la precisión en el posicionamiento está directamente vinculada con la extensión de cobertura de la celda, al incorporar el TA se obtiene de forma aproximada la distancia a la que se encuentra el terminal de la estación base. Pese a todo se sigue sin saber la dirección sobre la que se encuentra la BTS. Por tanto, el ID de la celda define geográficamente la zona y el TA define la distancia aproximada a la que se encuentra el móvil de la BTS. Los errores cometidos por este método pueden ser de hasta varios km en zonas rurales y de unos 10 metros en el mejor de los casos, cuando la BTS tiene una cobertura muy local. Esta tecnología no podría ser utilizada para posicionamiento en tiempo real o navegación, pero en cambio es útil cuando un abonado desea información acerca de la zona geográfica en la que se encuentra, ya que no se requiere de una máxima precisión.

Un elemento esencial a tener en cuenta tanto en CGI como en E-CGI es el tipo de antena que se utilice para llevar a cabo estos procedimientos de localización. Ambos han sido explicados tomando como base la existencia solamente de antenas omnidireccionales, o sea, aquellas que ofrecen cobertura los 360 grados con un solo dispositivo de transmisión y recepción de señales. Ahora bien, en caso de que existan antenas sectorizadas, aquellas que dividen los 360 grados en sectores de 120 mediante un dispositivo de transmisión y recepción para cada sector. Ello aumenta considerablemente el nivel de precisión de ambos métodos ya que el procedimiento se realizaría para un sector de 120 grados y no para 360 grados.

## **2.6 Técnicas basadas en la red.**

### **2.6.1 Ángulo de Llegada o Arribo.**

Este método utiliza antenas multiarray situadas en la estación base para determinar el ángulo de la señal incidente. Si un terminal que transmite una señal está en la línea de vista directa (LOS, Line Of Sight), la antena multiarray puede determinar de qué dirección viene la señal. Para conocer la posición del terminal es necesario al menos una segunda estimación procedente de otra estación base con la misma tecnología que la primera. La segunda estación base localizará al terminal y comparará sus datos con los de la primera estación para después calcular la posición del usuario mediante métodos trigonométricos. En principio sólo son necesarias dos estaciones base para estimar la posición del terminal móvil, por este motivo AOA resulta efectiva en entornos rurales, donde es complicado disponer de visión de tres estaciones base al mismo tiempo. Pero en condiciones adversas (entornos urbanos) suele ser imprescindible emplear más estaciones con el fin de obtener mayor precisión [11].



**Figura 2.5 Sistema de localización por ángulo de llegada.**

Los sistemas AOA deben diseñarse para tener en cuenta señales multitrayecto, aquellas que son consecuencia de una reflexión y que por tanto llegan a la antena con un ángulo erróneo. Por otra parte, la instalación y alineación de las antenas multiarray en las estaciones base es un proceso complicado y caro. Además, si las antenas sufren una leve modificación en su orientación debido al viento o las tormentas se pueden producir errores considerables en la estimación, ya que ésta se realiza en base a ángulos absolutos respecto de la antena [13].

### **2.6.2 Tiempo de llegada o Arribo.**

Esta técnica se basa en la medición del tiempo de llegada de una señal transmitida por un terminal móvil a diferentes estaciones base. Para efectuar el cálculo una posibilidad es medir el tiempo de ida y vuelta de la señal. De esta manera la distancia recorrida por la señal se calcula como producto del tiempo empleado en llegar a la BTS y la velocidad de la luz.

Mediante TOA para obtener una precisión aceptable en el cálculo de la posición de un terminal es necesario efectuar medidas al menos respecto a tres estaciones base. Las medidas permiten trazar circunferencias con centro en cada una de las BTS, dando su intersección como resultado el punto donde se encuentra el terminal que se desea localizar. Posteriormente se transmiten al servidor de localización, que realiza los cálculos y corrige los errores utilizando métodos matemáticos. Estos errores pueden deberse al tiempo de procesado en el terminal, el cual depende del fabricante y también de la situación de carga del dispositivo en un momento determinado. Otra desventaja que presenta esta técnica es que la ausencia de visión directa entre el terminal y la estación base puede causar un error que concluya en una falsa estimación [11].

### 2.6.3 Diferencia de Tiempo de Llegada o Arribo.

TDOA emplea la diferencia entre los tiempos de llegada de la señal procedente del terminal móvil a distintos pares de estaciones base para calcular la posición. Puesto que la curva cuyos puntos satisfacen la condición de que su distancia a 2 referencias (en este caso un par de estaciones base) sea una constante, esto crea imaginariamente hipérbolas entre las estaciones bases referenciadas, si se calcula esta correlación para varios pares de estaciones base la intersección de las hipérbolas resultantes muestra el punto donde se encuentra el terminal móvil.

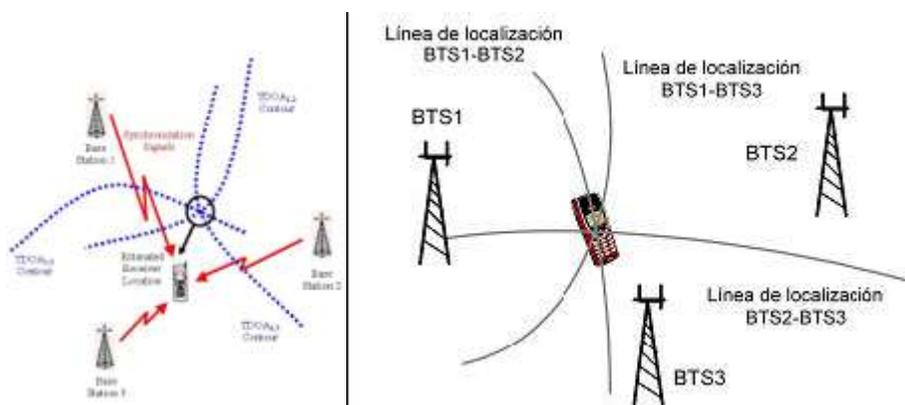


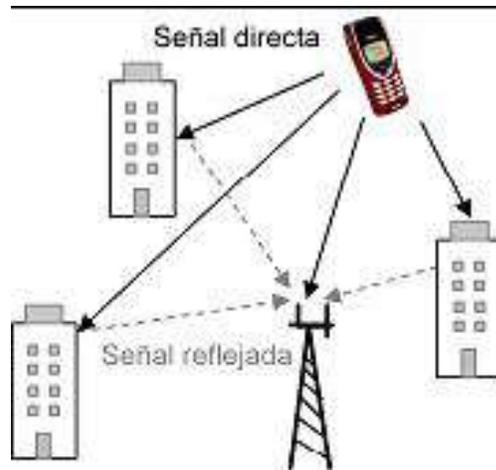
Figura 2.6. Sistema de localización TDOA

Al igual que en TOA, la sincronización entre estaciones base es muy importante, pues la falta de sincronía se traduce en errores de precisión. La principal ventaja de esta técnica es que puede funcionar incluso sin señal de visión directa, ya que la diferencia de tiempos cancela posibles errores por reflexiones. Pero en entornos favorables al multirrayecto (áreas urbanas) a veces es necesario efectuar las medidas respecto a cuatro BTS para compensar los efectos de las reflexiones. En entornos rurales se puede combinar con la AOA para proporcionar mayor precisión [11].

### 2.6.4 Huella Multirrayecto de la Señal de Radio.

Esta técnica aprovecha una de las perturbaciones más molestas a la hora de localizar un terminal móvil: las señales multirrayecto. Una señal, ya sea ascendente o descendente, puede sufrir reflexiones en el transcurso de su recorrido, causando lo que se denomina interferencia multirrayecto. En las BTS, la señal se recibe varias veces debido a los retardos dependientes de la diferencia de caminos.

La huella multitrayecto es una técnica que caracteriza las señales que llegan desde diferentes localizaciones. Para ello, el operador debe enviar unidades de prueba a distintos lugares con el fin de que las estaciones base graben las huellas multitrayecto y creen una base de datos para efectuar comparaciones. Por ejemplo, si se levanta un nuevo edificio la huella multitrayecto variará y tendrá que ser actualizada [11].



**Figura 2.7. Sistema de localización por "huella multitrayecto". La suma de todas las señales crea una señal "huella" que es almacenada.**

### **2.6.5 Triangulación de señal.**

Esta técnica hace uso de varios nodos fijos cuya posición es conocida. Cada nodo fijo ha de ser capaz de determinar la dirección, mediante ángulo de incidencia, en la que se encuentra el punto a determinar.

Para llevar a cabo esta tarea se emplea una antena direccional capaz de captar las emisiones radioeléctricas que se emiten en puntos distantes, siempre en la dirección a la que se oriente dicha antena. Si se capta con una antena direccional la señal que emite el teléfono móvil a localizar, se sabrá la dirección sobre la que se encuentra respecto al nodo de referencia, aunque no se puede determinar por este método la distancia a la que se encuentra. Para ello se emplea una segunda antena direccional ubicada a una distancia conocida del primer nodo. Esta antena determina de nuevo la dirección relativa sobre la que se encuentra el punto a localizar. Conociendo la dirección relativa en la que se encuentra el móvil a posicionar respecto a ambos nodos, se pueden trazar dos rectas con origen en dichos nodos que se intersecarían en el terminal. Estas rectas, junto con la que une los dos nodos que intervienen en el

proceso, conforman los lados de un triángulo. La distancia entre los nodos es un parámetro conocido, por lo que determina de por sí la longitud de uno de los lados del triángulo. Se conocen también los ángulos contiguos a dicho lado, por lo que aplicando simples operaciones trigonométricas se es capaz de calcular la distancia de los nodos al punto incógnito y esto brinda la posibilidad de posicionar en el plano la estación móvil objetivo. Si dicha estación móvil estuviera justo en la recta de unión de las dos estaciones base que intervienen en la medición, el resultado no sería concluyente y habría que emplear una tercera estación para obtener los resultados deseados.

Se puede realizar una triangulación con una antena direccional, en lugar de hacerse con un conjunto de antenas capaces de determinar diferentes TDOAs junto con un AoA para cada antena y así estimar las direcciones.



**Figura 2. 8 Triangulación.**

Para terminar, es necesario mencionar que existen también técnicas "híbridas", las cuales resultan de combinar algunas de las anteriores. Estas técnicas mejoran la precisión sin modificar notablemente las características de coste y complejidad. Así es posible implementar un sistema híbrido que adopte la estimación mediante AOA para cada estación base y las estimaciones TDOA para estaciones múltiples.

También aparece una combinación de AOA y TOA, procedimiento que determina la posición con una única estación base [13].

## **2.7 Técnicas basadas en la modificación del terminal móvil.**

### **2.7.1 Tiempo de llegada con terminal modificado (Time of Arrival)**

El concepto que sostiene esta técnica es el mismo que el del método TOA descrito en el apartado anterior, con la salvedad de que en este caso el terminal es capaz de marcar el instante exacto de la señal saliente mediante marcas temporales (time stamps). De esta manera, repitiendo las medidas para un mínimo de tres estaciones base es posible localizar el móvil. La desventaja de este método, y lo que lo hace realmente complejo y caro, es que requiere que las estaciones base y el terminal móvil tengan relojes precisos y sincronizados.

### **2.7.2 Trilateración avanzada de enlace hacia delante (Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT)**

La técnica A-FLT es exclusiva para redes CDMA, pues éstas son síncronas en operación. El método es muy similar al TDOA: consiste en efectuar la medida del retardo de fase entre señales enviadas a un par de estaciones base, y compararla con la medida de otro par. Los datos procedentes de 3 estaciones base permiten localizar un terminal móvil [11].

### **2.7.3 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).**

El Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de radionavegación mundial que permite determinar la posición de una persona, un vehículo o una nave en cualquier punto del planeta, para ello emplea al menos tres de los satélites que rodean la Tierra. El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra, esta constelación de satélites se conoce como la Navegación por Satélite en Tiempo y Distancia (NAVSTAR, Navigation Satellite Timing and Ranging) y está formada por 24 satélites activos más cuatro de reserva y fue desarrollada e instalada por el Departamento de Defensa de los Estados. La antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) tenía una red similar llamada Sistema Global de Navegación por Satélites en Órbita (GLONASS, Global Orbiting Navigation Satellite System or Global' naya Navigatsionnaya Sputnikova Sistema), la cual es operada actualmente por la Federación Rusa, esta red totalmente desplegada constaría de 24 satélites, pero al no

estar todos operativos se utiliza únicamente como complemento a NAVSTAR. Por otra parte, la Unión Europea intenta lanzar su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado 'Galileo'. Este proyecto es una versión modernizada de GPS [11].



**Figura 2.9 Satélite NAVSTAR GPS.**

El sistema GPS está formado por 3 partes fundamentales: los satélites, el control terrestre y los receptores. La primera parte está compuesta por los 24 satélites, ya mencionados anteriormente, distribuidos en seis órbitas polares diferentes situadas a 2 169 kilómetros de distancia de la Tierra. La segunda, abarca las infraestructuras terrestres necesarias para el control de la constelación de satélites y la tercera consta de los equipos de recepción y el software de procesamiento de señales.

### **2.7.3.1 Funcionamiento**

Para el funcionamiento del sistema GPS es necesario que el receptor GPS determine la distancia que lo separa de los satélites con la mayor exactitud posible. Básicamente el sistema funciona siguiendo los pasos descritos a continuación:

- La situación de los satélites es conocida por el receptor con base en las efemérides (5 parámetros orbitales Keplerianos), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de efemérides de toda la constelación se completa cada 12 min y se guarda en el receptor GPS.

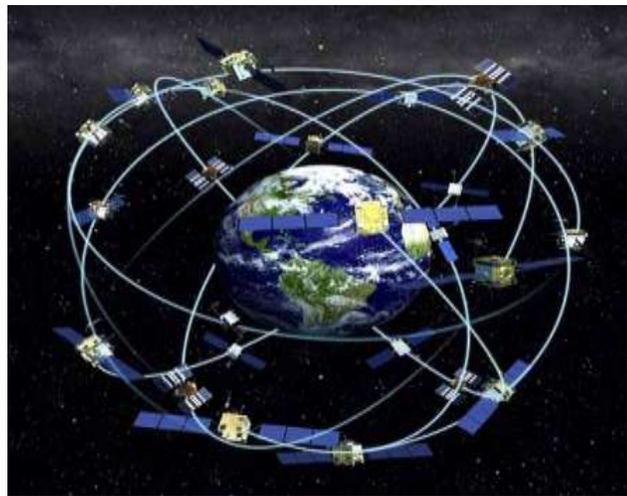
- El receptor GPS funciona midiendo su distancia a los satélites, y usa esa información para calcular su posición. Esta distancia se mide calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor. Conocido ese tiempo y basándose en el hecho de que la señal viaja a la velocidad de la luz, se puede calcular la distancia entre el receptor y el satélite.
- Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y de radio la distancia total hasta el receptor.
- Obteniendo información de dos satélites se nos indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersectan las dos esferas.
- Si adquirimos la misma información de un tercer satélite se nota que la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera ya se tendría la posición en 3-D. Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos.
- Teniendo información de un cuarto satélite, se elimina el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites. Y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición en tres dimensiones exacta. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.



**Figura 2.10 Receptor GPS.**

### **2.7.3.2 Fiabilidad de los datos.**

La precisión del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados. Con un elevado número de satélites dando seguimiento a un móvil (7, 8 o 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (están dispersos), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo.



**Figura 2.11 Red satelital de GPS.**

### **2.7.3.3 Fuentes de Error.**

La posición calculada por un receptor GPS requiere el instante actual, la posición del satélite y el retraso medido de la señal recibida. La precisión es dependiente de la posición y el retraso de la señal.

Al introducir el atraso, el receptor compara una serie de bits (unidad binaria) recibida del satélite con una versión interna. Cuando se comparan los límites de la serie, las electrónicas pueden meter la diferencia a 1% de un tiempo BIT, o aproximadamente 10 nanosegundos por el código C/A. Desde entonces las señales GPS se propagan a la velocidad de luz, que representa un error de 3 metros. Este es el error mínimo posible usando solamente la señal GPS C/A.

Los tipos de errores que afectan la localización utilizando este método son los mencionados a continuación:

1. Retraso de la señal en la ionosfera y la troposfera.
2. Señal multirruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanos.
3. Errores orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
4. Número de satélites visibles.
5. Geometría de los satélites visibles.
6. Errores locales en el reloj del GPS.

En la tabla siguiente se resume el conjunto de errores y sus efectos en la precisión del método.

<b>Fuente</b>	<b>Efecto</b>
Ionosfera	$\pm 5$ m
Efemérides	$\pm 2,5$ m
Reloj satelital	$\pm 2$ m
Distorsión multibandas	$\pm 1$ m
Troposfera	$\pm 0,5$ m
Errores numéricos	$\pm 1$ m o menos

**Tabla 2.1 Fuentes de errores en la transmisión de GPS.**

Algunos celulares pueden vincularse a un receptor GPS diseñado a tal efecto. Suelen ser módulos independientes del teléfono que se comunican vía inalámbrica bluetooth, o implementados en el mismo terminal móvil, y que le proporcionan los datos de posicionamiento que son interpretados por un programa de navegación. Esta aplicación del GPS está particularmente extendida en los teléfonos móviles que operan con el sistema operativo Symbian, y PDAs con el sistema operativo Windows Mobile, aunque varias marcas han lanzado modelos con un módulo GPS integrado con software GNU/Linux.

#### **2.7.4 Sistema de Posicionamiento Global Avanzado o Asistido.**

Este sistema fue desarrollado para mejorar las prestaciones del GPS convencional. El A-GPS es aplicable tanto a redes síncronas como a redes asíncronas (es soportado por GSM, GPRS, UMTS y CDMA). La diferencia en términos de prestación de servicios que este sistema tiene respecto al GPS tradicional radica en el uso de servidores de asistencia. Estos recogen información de navegación y datos de corrección diferencial para los satélites GPS que están en la zona de cobertura de un servidor de asistencia determinado. De esta manera y teniendo como base los datos recopilados, el servidor de asistencia facilita bajo demanda datos de interés a los móviles que a su vez son visibles en este. Los datos, a través de un SMS de no más de medio centenar de bytes, son todo lo que el móvil necesita saber para completar los datos GPS recibidos. El servidor de localización puede también tener acceso a una base de datos de elevaciones del terreno que permite precisar la altitud a la que se encuentra el terminal móvil, efectuando de esta manera una localización en 3 dimensiones [13].

El funcionamiento de esta metodología no está muy alejado de la concepción inicial GPS, concretamente funciona de la siguiente manera:

1. El terminal lanza una petición de localización.
2. El servidor de localización emplea información de identificación de celda, a través de CGI, para proporcionar al móvil los satélites GPS que ha de escuchar.
3. El sistema de posicionamiento GPS reúne información sobre la posición del terminal.
4. La información procedente del sistema GPS se combina con diferentes medidas efectuadas por la red celular y se envían al servidor de localización.
5. Las coordenadas exactas se transmiten al terminal, a otro operador de telefonía móvil o a otro LBS [2].

A un Sistema de Posicionamiento Global convencional, cuando el receptor se encuentra rodeado de árboles, paredes de hormigón, tormentas eléctricas, etc, se le hace difícil obtener mediciones confiables producto a que en estas zonas hay baja intensidad de la señal.

El método A-GPS da solución a estas dificultades conectándose a un servidor de asistencia, el cual le da

la posibilidad de llevar a cabo la localización, aproximadamente del móvil a través del uso de las antenas de telefonía móvil a las que está conectado. Las ventajas que proporcionan el uso del servidor de emergencia son:

- El servidor de asistencia puede localizar el teléfono de la misma manera que si estuviera conectado a la red de telefonía.
- El servidor de asistencia tiene una buena señal satelital y mucha capacidad de cómputo, esto le permite, luego de recibir directamente del satélite las señales fragmentadas poder compararlas y después informar al celular o al servicio de emergencias la posición exacta del mismo.
- Puede realizar cálculos más precisos de la posición de móvil, puesto que puede tener un mejor conocimiento de las condiciones ionosféricas que disminuyen la señal de GPS que recibe el móvil.

### **2.8 Técnicas basadas en Internet.**

#### **2.8.1 Localización por dirección de IP (IP Address):**

Esta tecnología se basa en el hecho de que la asignación de números IP es conocida y puede ser muy vinculada a una posición más o menos en algunos casos. Números IP se asignan en bloques, y estos bloques se les dan a los proveedores de servicios de Internet (ISP, internet service providers).

Originalmente, los métodos de enrutamiento fueron definidos para redes estáticas, sin considerar que un terminal o nodo pudiese desplazarse de una red o subred a otra. El enrutamiento toma ventaja del “prefijo de red” que contiene cada dirección IP para conocer la ubicación física de una computadora y por defecto, dicha ubicación es fija. El Protocolo IP Móvil define procedimientos por los cuales los paquetes pueden ser enrutados a un nodo móvil, independientemente de su ubicación actual y sin cambiar su dirección IP. Los paquetes destinados a un nodo móvil primeramente son dirigidos a su red local. Allí, un agente local los intercepta y mediante un túnel los reenvía a la dirección temporal recientemente informada por el nodo móvil. En el punto final del túnel un agente foráneo recibe los paquetes y los entrega al nodo móvil.

Entonces, sin duda, vienen como una sorpresa que hoy en día hay empresas que tratan de vender los servicios en los que la posición de la información procede de la Internet. Este sistema funciona porque hay maneras genéricas de seleccionar direcciones mediante el mapeo de posiciones. Sin embargo no hay manera de hacer consultas a un dispositivo sobre su posición real ni tampoco este puede brindarla mediante este método de localización [13].

### **2.8.2 DNS (Domain Name System).**

Posicionamiento basado en DNS funciona un poco mejor que el posicionamiento basado en número de IP. Por las mismas razones, sin embargo, sólo trabaja con posiciones fijas. [13]

Un gran problema con estas ideas es que la información es estática. A pesar de que se pueden actualizar los registros DNS de una localidad, tienen que ser propagadas a través de la jerarquía de servidores DNS para que surtan efecto, y que significará que será al menos 24 horas entre el momento de actualizar la información y el momento en que la información se distribuye a otros usuarios de DNS (esta situación no es un problema en realidad, sino que tiene que ver con el tiempo en que los sistemas centrales se actualizan) [13].

### **2.10 Conclusiones.**

En este capítulo se abordó todo lo referente en cuanto a las distintas técnicas de localización en redes CDMA2000, para móviles. Se analizó también la gestión de la localización en redes CDMA2000.

## **CAPÍTULO 3: PROPUESTA PARA LA RED CDMA2000**

### **3.1. Introducción.**

En este capítulo luego de haber realizado los estudios de las distintas técnicas de localización, se hará un estudio de factibilidad de los mismos así como de las ventajas que presenta esta tecnología CDMA2000 sobre la actual GSM-GPRS. Luego se realizará la propuesta del método híbrido de localización para la red CDMA2000 propuesta.

### **3.2. Estudio de factibilidad de las tecnologías de redes.**

En la actualidad, se puede afirmar que están inmersos en una auténtica revolución de los servicios, gracias a los innovadores avances tecnológicos que han posibilitado el aumento de las tasas de transferencia de datos en los enlaces de comunicaciones móviles. El terminal móvil ha dejado de ser un mero terminal telefónico para convertirse, para el profesional, en una extensión de su oficina, y para el ciudadano, en una útil herramienta para la gestión de la vida cotidiana.

De esta forma, se observa una progresiva introducción de servicios como son la Internet Móvil, la televisión en movilidad, el uso de certificado digital y firma electrónica en movilidad, el pago de servicios a través del terminal móvil, la gestión de servicios bancarios y financieros, así como el ocio a través de descarga de juegos y música. Todo este amplio abanico de servicios y aplicaciones se verá potenciado con la futura convergencia de redes basada en el "Todo-IP".

En Cuba la red existente de comunicación móvil es GSM migrando hacia GPRS. A continuación se darán a conocer elementos técnicos que comparan a esta tecnología con CDMA2000. Se tendrán en cuenta los criterios de generación, tipo de conmutación, velocidad de transmisión y servicios que prestan.

<b>Tecnología</b>	<b>Generación</b>	<b>Tipo de Transmisión</b>	<b>Velocidad Máxima</b>
GSM	2G	Conmutación de circuitos	9.6 Kbps
GPRS	2.5G	Conmutación de paquetes	115 Kbps
CDMA2000	3G	Conmutación de paquetes	2.0 Mbps

**Tabla 3.1 Comparación de velocidades de transmisión de datos.**

Una parte clave de cualquier teléfono móvil es su especificación de las bandas de frecuencia de funcionamiento. El apoyo de bandas de frecuencias determina si un determinado dispositivo es compatible con un determinado operador de red. En Cuba en la actualidad se utiliza la tecnología GSM con una transmisión a 900Mhz.

<b>Estándar</b>	<b>450MHz</b>	<b>800MHz</b>	<b>850MHz</b>	<b>900MHz</b>	<b>1700MHz</b>	<b>1800MHz</b>	<b>1900MHz</b>	<b>2100MHz</b>
<b>GSM</b>			✓	✓		✓	✓	✓
<b>UMTS</b>			✓	✓	✓		✓	✓
<b>CDMA2000</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Tabla 3.2 Bandas de Transmisión de frecuencias.**

La tabla anterior muestra que el espectro de transmisión de frecuencia de CDMA2000 comprende el que es utilizado en la actualidad por GSM en el territorio nacional.

Hay muchas razones por las que CDMA2000 es la tecnología elegida para la próxima generación de productos y servicios de comunicaciones digitales inalámbricas:

### **3.2.1 Excepcional calidad de voz y de llamadas.**

Con la tecnología CDMA se puede disfrutar de una mayor claridad de voz, privacidad y mejor calidad de llamadas, esta filtra el ruido de fondo, la diafonía y la interferencia. El codificador de voz de velocidad variable del sistema CDMA de QUALCOMM traduce la voz humana a transmisiones digitales, ceros y unos, a las mayores velocidades de traducción posibles (8kbps o 13kbps). Logrando así un aumento en la claridad de la voz, además maximiza la capacidad de su sistema.

### **3.2.2 Ancho de banda en demanda.**

Se puede decir que existe una mayor flexibilidad referente al ancho de banda permitiendo así servicios en demanda a tiempo real gracias a que CDMA utiliza una porción grande de espectro compartida entre varios consumidores. Servicios como voz, datos o fax se pueden recibir debido al canal de 1.25 MHz que tiene CDMA. Y en un tiempo dado estará disponible para otros usuarios la porción de este ancho de banda que no sea utilizada por un terminal. En resumen, verdaderamente CDMA es de 3 a 6 veces más eficiente en ancho de banda que TDMA ya que entre otras cuestiones usando TDMA donde los canales son fijos y pequeños, lo antes mencionado no sería posible.

### **3.2.3 Mayor cobertura a menor costo.**

La señal de espectro extendido de CDMA provee gran cobertura en la industria inalámbrica, permitiendo a los carriers la instalación de menos celdas para cubrir un área más extensa. Pocas celdas significan para los carriers mucho ahorro en infraestructura de radio bases. Dependiendo de la carga del sistema y de la interferencia, la reducción de celdas es 50% menor en CDMA que en sistemas como GSM basado en TDMA. Es preciso notar que la reducción de celdas sólo es válida para operadores que empezaron desde un principio con CDMA. Operadores que utilizan sistemas analógicos o basados en otras tecnologías deberán redistribuir las celdas CDMA con las celdas ya existentes.

### **3.2.4 Implantación más rápida.**

Los sistemas CDMA pueden ser implantados y expandidos más rápidamente debido a que requieren de menos celdas y así aseguran menor gasto de inversión y operación para los operadores.

### **3.2.5 Datos en paquetes.**

Ya los teléfonos cdmaOne estándar tienen incorporados los protocolos TCP/IP y PPP. Otras redes

pretenden costosas mejoras para agregar nuevos equipos de datos en paquetes a las mismas y necesitan así mismo nuevos teléfonos para datos en paquetes.

### **3.2.6 Menos llamadas perdidas.**

Se entiende por transferencia de celdas (handoff) de CDMA, al proceso donde se transfiere la llamada del cliente de una celda a otra a otra, y durante esta se logra reducir el riesgo de interrumpirlas. Se dice que la transferencia entre celdas es transparente al usuario debido a que al ser utilizado el mismo espectro por todos los usuarios, es mucho más fácil moverse de una celda a otra sin que el suscriptor note pérdida de señal. Se conoce como transferencia suave o transparente (soft handoff) entre celdas, cuando se logra que sean menos las llamadas caídas puesto que 2 o 3 celdas están monitoreando durante el tiempo de vida la llamada.

### **3.2.7 Mayor seguridad y privacidad.**

A diferencia de GSM, que se basa en la reutilización de frecuencia, la tecnología CDMA2000 utiliza una técnica que se cataloga como reutilización de código, de ahí que CDMA2000 sea más seguro al garantizar que todos los datos viajen codificados. Con la utilización de espectro expandido las transmisiones con CDMA2000 resisten la escucha oculta, diseñada con alrededor de 4,4 billones de códigos, esta tecnología elimina virtualmente la clonación y otros tipos de fraude.

### **3.2.8 Resistencia a la interferencia, ruido del ambiente y multitrayectorias.**

Con CDMA, el ruido eléctrico de fondo y ruido acústico de fondo son filtrados al usar ancho de banda angosta que corresponde a la frecuencia de la voz humana. Esto mantiene al ruido de fondo fuera de las conversaciones. En TDMA por el contrario, por ser basada en el tiempo, las multitrayectorias son un problema. Esto producto a que las señales que vienen de distintas trayectorias, desfasadas en el tiempo, ocasionan una interferencia en las ranuras adyacentes dentro de los canales de transmisión haciendo que se interfieran las llamadas y se caigan.

### **3.2.9 Soporta múltiples plataformas de servicios.**

CDMA2000 pueden utilizarse con diferentes sistemas operativos (Palm y PocketPC), plataformas de aplicación (JAVA y BREW), WAP, y las nuevas tecnologías inalámbricas (Wi-Fi y Push-To-Talk) [3].

### **3.2.10 Plena compatibilidad con versiones anteriores.**

CDMA2000 es compatible hacia atrás con cdmaOne, y 1xEV-DO es compatible hacia atrás con ambos CDMA2000 1X y cdmaOne modo a través de múltiples dispositivos. Asegura la compatibilidad con versiones anteriores de servicios de transparencia para el usuario final y la buena integración de redes 2G y 3G para el operador [7].

### **3.2.11 Mayor duración de la batería.**

CDMA2000 mejora significativamente el rendimiento de la batería. Los beneficios incluyen:

- Rápida operación de búsqueda de canales.
- Mejora el rendimiento enlace inverso.
- Nueva estructura de canal común y el funcionamiento.
- Invertir enlace de transmisión de acceso.
- Nueva MAC estados eficientes y ubicua para el tiempo de inactividad operación.

### **3.2.12 Sincronización.**

CDMA2000 está sincronizado con el Tiempo Universal Coordinado (UCT, Universal Coordinate Time). El futuro enlace de transmisión de tiempos de todas las estaciones base CDMA2000 en todo el mundo está sincronizado a los pocos microsegundos.

Hay varios beneficios a los que tengan todas las estaciones base en una red sincronizada:

- El tiempo de referencia común de los canales mejora, ya que no hay tiempo para la búsqueda de la ambigüedad.
- También permite que el sistema para operar algunos de los canales de mano blanda, lo que mejora la eficiencia de la operación por canal común [7].

### 3.2.13 Localización.

Los LBS abarcan una amplia gama de aplicaciones específicas a un usuario. Los operadores de CDMA2000 han introducido una amplia variedad de servicios innovadores, tales como información de tráfico, navegación y seguimiento. Otra área de aplicación es el enrutamiento basado en la localización o selectivo, donde las llamadas telefónicas o los datos son encaminados dependiendo de la localización actual del suscriptor. Esto es utilizado, por ejemplo, para encaminar llamadas de emergencia a una agencia de respuesta a emergencias que esté cercana a la localización actual de la persona que hizo la llamada [2]. Con estos servicios, sus consumidores y los usuarios de la empresa puede obtener información actualizada sobre el flujo de tráfico y las indicaciones para llegar al banco más cercano o en el restaurante encontrar a sus amigos, en estos servicios se apoya además la industria automovilística para crear nuevos y más seguros vehículos que brindan un mejor enfoque a la hora de determinar rutas o estimar distancias.

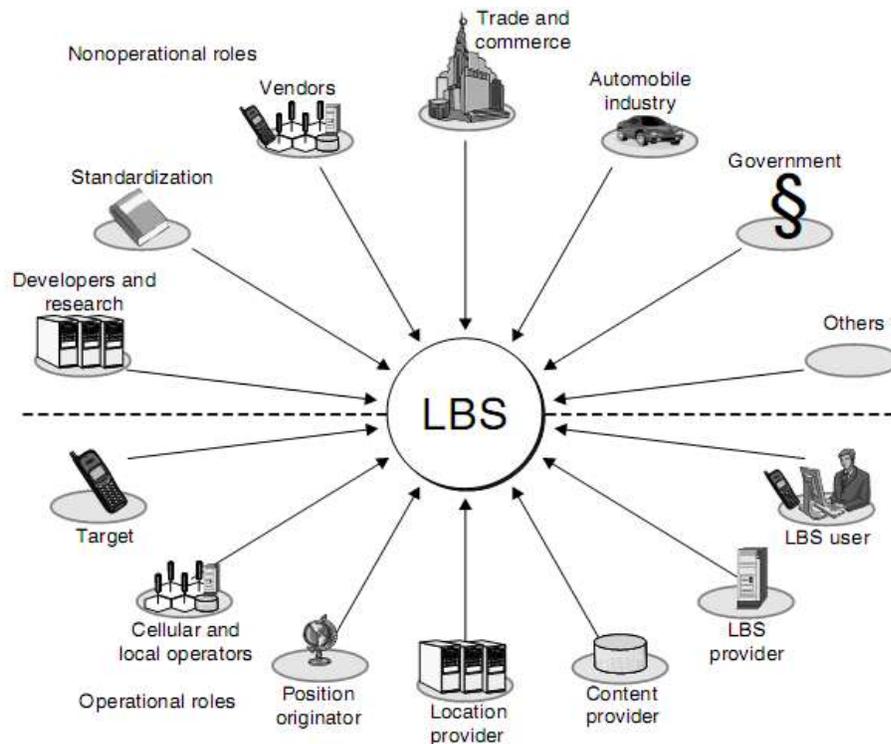


Figura 3.1 LBS por roles [8].

### 3.3 Camino migratorio hacia 3G.

En la actualidad los operadores buscan equipos que soporten diversidad de servicios, economías de escalas, móviles de bajo costo y una evolución a la que se le pueda dar seguimiento en futuras generaciones. La particularidad del problema está en si se debe ahorrar a la hora de comprar los equipos o se debe invertir más y considerar la compra desde el punto de vista del costo total, beneficios en cuanto a servicios prestados y posición en el mercado internacional a largo plazo.

Este fenómeno no es nuevo. Los operadores desde principio de la década del 90 se encontraban en una posición en la que debían elegir entre continuar invirtiendo con la atrasada tecnología analógica cuyo gasto de capital era bajo o invertir en nuevas y mejores tecnologías digitales como cdmaOne, TDMA, GSM, que eran más caras, pero traerían ventajas como, mejor calidad de voz, mayor capacidad y uso más eficiente del espectro eléctrico.

Para maximizar sus ganancias los operadores de visión futura optaron por la tecnología digital, sin embargo aquellos que continuaron con la tecnología analógica sintieron el impacto desde el punto de vista del costo de inversión a largo plazo, perdieron oportunidades de ingreso y posición competitiva en el mercado cuando las tecnologías digitales 2G maduraron. Estas decisiones erróneas trajeron como consecuencia un lento desarrollo en el surgimiento de tecnologías de mejor rendimiento: no fue hasta 1997 que la cantidad real de abonados digitales de 2G superó al número de abonados analógicos.



Figura 3.2 Ingreso totales mundiales por estándar tecnológico.

CDMA2000 está redefiniendo la totalidad del mercado de terminales de bajo costo no sólo incrementando la teledensidad, sino que también brindando, por primera vez a muchas personas a lo largo del planeta, Internet, con todos los beneficios que esto implica. Con un sin número de redes y usuarios, CDMA2000 ya ofrece economías de escala sustanciales, lo que trae como resultado un significativo impacto en los precios de los dispositivos. Existen países como la India donde hay un alto grado competitivo entre GSM y CDMA. La diferencia de precios entre los terminales importados de baja gama GSM de 2G y los CDMA2000 de 3G se ha reducido a unos US\$ 5. De hecho, considerando todos los dispositivos disponibles, los terminales CDMA2000 tienen un precio promedio que es notablemente más bajo que los terminales de 2G en toda la cartera de productos de la región.

En comparación con UMTS, las tendencias en la disminución del precio promedio de venta también están a favor de CDMA2000. En un estudio reciente, Signals Research Group predijo que el precio promedio de los terminales CDMA2000 de bajo costo se aproximaría a los US\$33 para el año 2009 (algunos tendrán precios mucho más bajos), y que el precio promedio de un terminal de bajo costo UMTS disminuiría aproximadamente a US\$ 83 en el mismo año [14].

Los operadores están ante la disyuntiva de realizar inversiones en una tecnología de hace 15 años como GSM o en las nuevas tecnologías de 3G, como CDMA2000 que brinda una mayor capacidad de red y un menor costo para proporcionar servicios de voz, multimedia y datos.

“En todo el mundo, tanto en los mercados desarrollados como en los emergentes, los operadores finalmente tendrán que desplegar tecnología de 3G para soportar la mayor demanda de servicios de voz y datos de alta velocidad para consumidores, empresas y aplicaciones de servicio público”, observó Perry LaForge, director ejecutivo del CDMA Development Group (CDG).

En los últimos 6 años, casi 300 operadores de todo el mundo desplegaron sistemas de 3G. Cerca de 200 operadores, entre ellos 28 operadores GSM, desplegaron o están desplegando tecnologías CDMA2000. Se espera que esta tendencia continúe bien entrada la próxima década.



Figura 3.3 Ventas comparativas de terminales (UMTS-CDMA2000).

Para Signals Research Group, un operador puede de hecho, en diferentes escenarios de mercado, reducir su costo total de propiedad de red a largo plazo si opta por desplegar una red 3G en vez de seguir con una estrategia de 2G. La empresa descubrió que estos resultados también pueden aplicarse en mercados en desarrollo donde el uso de los servicios de voz y de datos en las redes 2G es relativamente alto y sigue creciendo.

Un núcleo urbano con mucho tráfico, operado con CDMA2000, puede ser mejorado agregándole nuevas portadoras, para más tarde evolucionar a EV-DO mediante software a fin de agregar aún más capacidad de transmisión. Las áreas suburbanas o rurales aledañas con menor densidad poblacional pueden permanecer con una portadora de 1X o EV-DO, ya que los dispositivos, al ser compatibles con las distintas redes, ofrecen una transición continua entre las diferentes zonas.

Además, las redes troncales y de transporte basadas íntegramente en el protocolo de Internet (IP), continuarán emergiendo a medida que CDMA2000 va siendo instalada. Esto significa que los operadores de CDMA2000 serán los primeros en poder contar con la ventaja de ahorrar hasta un 50% en costos de transporte por la eliminación de los componentes caros de las redes conmutadas por circuitos, tales como los centros de conmutación móvil. En un plazo de diez años, los gastos de capital de una red troncal all-IP pueden ser 70% más bajos que los de una red conmutada por circuitos [14].



### **3.4. Análisis de la factibilidad de aplicación en Cuba de los métodos de localización.**

#### **3.4.1 Técnica de localización basada en la identidad de celda**

Sobre la localización de móviles con este método se llegó a la conclusión de que quizás no se encuentre al nivel de exigencia que desea el cliente por el gran rango de error del mismo, al dar como margen el área de cobertura de la celda. Teniendo en cuenta que lo que da a conocer es la zona de cobertura sobre la que se encuentra ubicado el terminal móvil. Sin embargo, aunque no esté disponible o sea la menos indicada para ofrecer servicios de emergencia, es de gran utilidad en algunos de los casos, pues permite implementar servicios de orientación al usuario geográficamente. En áreas rurales disminuye su utilización debido a la menor densidad de antenas y estaciones base. Además se debe mencionar que su gran ventaja es que no requiere ninguna inversión adicional ni modificación en red o terminal lo que abarata considerablemente los precios a la hora de emplearlos.

#### **3.4.2 Ángulo de Arribo.**

Según el estudio hecho en el capítulo anterior sobre este método, necesita para su funcionamiento del uso de antenas multiarray, las que deben ser emplazadas teniendo en cuenta una ubicación minuciosa así como un proceso de verificación cíclico para no perder la referencia angular. Este método sí permite la implementación de cualquier servicio basado en la localización aunque en entornos rurales tiene la misma desventaja del anterior al no contar con una adecuada cantidad de estaciones base y celdas. Necesita además instrumentos específicos para realizar cálculos espectrales lo que conlleva a otra inversión de capital.

#### **3.4.3 Tiempo de Arribo.**

En el momento de localizar móviles utilizando esta metodología, uno de sus inconvenientes es que esta necesita como mínimo 3 estaciones base para lograr la localización lo que no sería factible de emplear en entornos rurales, así como las imprecisiones con antenas coliniales. Sin embargo una de las ventajas que presenta es que no se ve afectada, en gran medida, por los multitrayectos, además se puede brindar con el mismo cualquier servicio de localización.

Es válido mencionar que como esta tecnología está considerada como una red sincronizada no se necesitan inversiones adicionales para sincronizar la red.

#### **3.4.4 Diferencia de Tiempo de Llegada.**

Se debe destacar que este método es mucho más exacto que los explicados anteriormente, con o sin modificación del terminal, pues a diferencia de los métodos TOA y AoA elimina los posibles errores por reflexiones al restar los tiempos de llegada y envío de la señal, aunque en áreas urbanas en ocasiones se hace necesario realizar mediciones en más de 3 BTS para compensar los efectos de las mismas.

A su vez el empleo de este método es más fiable y efectivo en este tipo de red al ser una red síncrona. En contornos rurales disminuye su aplicabilidad al no ser factible la instalación de múltiples estaciones bases en las referidas localidades.

#### **3.4.5 Trilateración avanzada de enlace hacia adelante (Advanced Forward Link Trilateration, A-FLT).**

La técnica A-FLT es exclusiva para redes CDMA, pues estas son síncronas en operación. El método es muy similar al TDOA: consiste en efectuar la medida del retardo de fase entre señales enviadas a un par de estaciones base y compararla con la medida de otro par, por lo que para lograr su efectividad requiere de sincronización de las estaciones bases que posee esta tecnología. De igual forma es en entornos rurales poco factible al no contar con un respaldo necesario de BTS.

#### **3.4.6 Huella Multitrayecto.**

No es recomendable la utilización de este método en el país, ya que el mismo requeriría de una inversión constante tanto en lo monetario como en recursos del estado, esto producto a las constantes modificaciones del entorno del mismo provocado por cambios climáticos que provocarían la inutilidad del servicio de localización y la necesidad de una nueva medición de huella multitrayecto.

#### **3.4.7 Triangulación de la señal.**

Este método necesita la utilización de antenas direccionales, esto traería consigo inversiones para la implantación de las mismas. El mismo funciona con cualquier tipo de terminal y permite implantar servicios basados en la localización, aunque en entornos rurales pierde efectividad al no contar con un respaldo tecnológico adecuado, entendiéndose cantidad de BTS y como desventaja adicional para su utilización es necesaria la vista directa entre el móvil y la estación base, no siendo esto posible en todo momento.

#### **3.4.8 Sistema de Posicionamiento Global.**

Esta técnica es una de las más utilizadas a nivel mundial, como desventaja presenta una baja recepción de señal en escenarios interiores, lo que imposibilita su localización en estas áreas. En el contorno económico es en conjunto con A-GPS el método más caro de implantar para la localización móvil. Independientemente de lo antes expuesto es sin dudas uno de los métodos más precisos a la hora de brindar servicios orientados a la localización. Vale recalcar que en contornos urbanos con gran número de edificaciones este método pierde efectividad.

#### **3.4.9 Sistema de Posicionamiento Global Avanzado o Asistido.**

Si bien es cierto que el GPS todavía presenta retraso al captar la señal transmitida desde el satélite y los precios de mercado son superiores incluso al GPS por la necesidad de los servidores de asistencia, esta técnica híbrida alcanza una gran popularidad en el mundo debido a los atractivos servicios de localización que gracias ella se prestan. Es más efectivo en entornos urbanos que el GPS convencional pero aún así no es totalmente efectivo en estos entornos.

#### **3.4.10 Técnicas basadas en Internet.**

Estas técnicas si bien es cierto que dan una noción de la localización por apoyarse en las direcciones IP y en los nombres de dominio DNS asignadas, sólo trabajan con posiciones fijas, por lo que imposibilita la implementación de servicios basados en la localización de móviles.

**3.4.11 Precisión métodos de localización.**

<b>Método</b>	<b>Precisión</b>
Cell ID	100m-100km depende del área de cobertura de la celda.
Cell ID + TA	50m-(+3km)
AFLT	50m-200m
AOA	50m-150m
TOA	100m-500m
DTOA	100m-350m
GPS/A-GPS	5m-100m

**Tabla 3.3 Precisión de los métodos más utilizados.**

**3.5 Propuesta de un método de localización para la Red CDM2000 partir de la integración de AOA con TOA.**

A partir de los resultados de una entrevista realizada al Msc. Pedro Arzola Morris, en junio de 2009, en la IPSJAE, Dpto. Sistemas de Telecomunicaciones se fabricó con modestos recursos un prototipo no funcional de antenas inteligentes con múltiples ARRAYS, demostrándose que era posible la creación de las mismas con un precio mucho menor en comparación a los precios de estas antenas en el mercado internacional.

<b>LBS</b>	<b>GPS A-GPS</b>	<b>AFLT</b>	<b>AOA</b>	<b>CELL-ID</b>	<b>E-CELL-ID</b>
<b>Emergencia</b>	✓	✓	✓	X	X
<b>Búsqueda de Personas</b>	✓	✓	✓	X	X
<b>Servicios más próximo</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Publicidad Localizada</b>	✓	✓	✓	X	X
<b>Orientación Geográfica</b>	✓	✓	✓	✓	✓

**Tabla 3.4 Servicios Basados en la localización.**

La utilización de estas antenas es aplicable a diversos métodos de localización, lo que contribuiría a mejorar la efectividad en el funcionamiento de los mismos. Ejemplo de ello sería la aplicación del mismo utilizando Cell ID, lo que contribuiría a reducir considerablemente la ubicación del móvil puesto que al tener un haz de mayor directividad y de mayor selectividad angular se reduciría el rango de la ubicación del móvil.

Basándose en que el uso de estas antenas mejorarían la eficiencia de los sistemas de localización por antena y que el precio de las mismas sería muy inferior a los del mercado mundial, se llegó a la conclusión de que cada tecnología presenta debilidades y diferentes márgenes de errores de precisión, estos se pueden mejorar en la práctica con el uso de tecnologías híbridas, por consiguiente:

Se ha decidido por los autores seleccionar la técnica híbrida que se obtiene de la combinación de AOA y TOA (AOA/TOA), donde es válido mencionar que la integración de estas técnicas es muy utilizada a nivel mundial para el uso de una adecuada localización.

Para llevar a cabo la localización del móvil, primeramente con la utilización de Método TOA se realizará medición del tiempo de llegada de la señal transmitida por el terminal móvil a la estación base. De esta manera la distancia recorrida por la señal se calcula como producto del tiempo empleado en llegar a la estación base a la velocidad de la luz, esta medida permite trazar una circunferencia tomando como centro la estación base, luego apoyándose en la técnica del método AoA con antenas MultiArray situadas en la estación base se determina el ángulo de incidencia de la señal del móvil, luego la posición de la intercepción de ambos métodos se transmiten al servidor de localización, que es el encargado de realizar los cálculos y corrige los errores utilizando algoritmo matemáticos.

Este sistema híbrido tiene como particularidad que permite determinar la localización del terminal con una sola estación base. La combinación de la determinación del ángulo de llegada (AOA) con la distancia absoluta estimada (TOA) mediante bucle cerrado (ya que en este caso sólo se usa una estación base) permite localizar al terminal sin el concurso de estaciones adicionales, por lo que se simplifica la coordinación entre los nodos de red.

### **3.6 Conclusiones.**

En este capítulo se realizó un análisis de las ventajas de CDMA2000 así como la factibilidad de aplicación de los distintos métodos de localización en Cuba, teniendo en cuenta que no existe una red de este tipo en el país y la situación económica del mismo, determinando que el método más adecuado es el de (AOA/TOA) debido a sus características.

## **CONCLUSIONES**

La realización de esta investigación contribuyó a describir las principales técnicas de posicionamiento aplicables a las redes CDMA2000, así como los principales elementos de esta sólida arquitectura sobre los cuales están basadas estas técnicas. Proporcionando así una base de conocimiento sobre localización en CDMA2000 y una guía para la puesta en práctica de una de las metodologías abordadas. Para lograr este objetivo se hizo un estudio de la evolución de la telefonía celular y de la situación que tiene la misma a nivel internacional. A partir de los estudios realizados se sentaron las bases para solucionar la situación problemática presentada.

De esta forma se llegó a la propuesta de una técnica híbrida que estuviera ubicada en el marco de las posibilidades económicas de Cuba teniendo en cuenta que este tipo de redes no operan en la actualidad. Este método lleva a un incremento de los servicios ofrecidos por el operador cubano, con la aparición por primera vez en el país de servicios basados en la localización del móvil. Esto conllevará a elevar el prestigio y el desarrollo de la infraestructura de servicios del mismo, lo que se traduciría en beneficios económicos para Cuba. Esta investigación ha servido para profundizar una idea que hasta este momento no estaba bien clara, logrando crear una iniciativa que puede ser tomada y aceptada por las personas implicadas en el tema.

Basado en los aspectos anteriormente planteados, se consideran abordados y cumplidos los objetivos propuestos, logrando así la solución del problema. Por otra parte, es bueno destacar que para el correcto desarrollo de la investigación se consultó bibliografía cuya actualización es correcta de acuerdo a los sistemas estudiados.

## **RECOMENDACIONES**

A partir de las conclusiones abordadas y de la base de conocimiento aportada en el tema de la localización en CDMA2000, los autores recomiendan:

- Hacer los estudios pertinentes y ver la posibilidad de la implantación de la red CDMA2000 en Cuba.
- Analizar y poner en práctica la fabricación para futura utilización del prototipo de antena inteligente realizado por el Msc. Pedro Arzola Morris.
- Proponer la creación de proyectos entre la UCI-CUJAE donde se desarrollen los distintos algoritmos que dan inteligencia a las antenas Multiarray, siendo este el peso principal en el costo de las mismas.
- Realizar un estudio sobre las posibilidades de introducir en Cuba, a mediano o largo plazo, tecnologías que permitan la implementación de servicios de localización más precisos.
- Utilizar la propuesta que da como resultado esta investigación, para aplicarse en el país, una vez instaurada una red CDMA2000 en el mismo.

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS:**

1. **ALI ABU-RGHEFF.MOSA:** *Introducción a las redes de comunicación CDMA, 2007.*
2. **PEREZ HERNANDEZ.A, PEREZ CARMENATE.A:** *Estudio de la Gestión de la Localización en Redes GSM.*
3. **KUPPER.A:** *Localización basada en servicios: Fundamentos y operaciones, 2005.*
4. **NEVEN,Boric:** *Evolución de la Telefonía Celular.2004.*
5. **MISHRA.A:** *Planeamiento y optimización de redes celulares avanzadas, 2007.*
6. **SAUTER. M:** *Beyond 3G – Bringing Networks, Terminals and the Web Together, 2009.*
7. **CDMA Development Group:** *<http://cdg.org>.*
8. **YANG, Samuel C:** *3G CDMA2000 wireless system engineering 2004.*
9. **Muñoz. M, Garcia. C:** *'A new model for service and application convergence in b3g/4g networks', IEEE Wireless Communications 2004.*
10. **BARBOLLA, A. M. B:** *Servicios Móviles de Localización. Centro de Difusión de Tecnologías ETSIT-UPM, 2003, Disponible en: <http://www.ceditec.etsit.upm.es>.*
11. **BERNARDOS, A:** *Tecnologías de Localización. U. Carlos III, 2003.*
12. **ARANDA E., DE LA PAZ A., BERBERANA I., GONZÁLEZ H:** *Sistemas de localización en redes móviles: el servicio de emergencias 112. Comunicaciones de Telefónica I+D, número 21, pp. 117-131. Madrid 2001.*
13. **HIJELM.J:** *Creating Location Services for the Wireless Web, 2002.*
14. **LaFORGUE, P:** *3G World Update. 2008.*

**BIBLIOGRAFÍA GENERAL:**

1. **EBERSPACHERE. J, VOGEL. H, BETTSTETTER. C, HARTMANN. C:** *GSM – Architecture, Protocols and Services, 2009.*
2. **Geo-posicionamiento GSM Independiente de la Red Móvil.** Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
3. **IPATOV.V:** *CDMA y Espectro Esparcido: Principios y aplicaciones, 2005.*
4. **DIXIT.S, PRASAD.R:** *Wireless IP and Building the Mobile Internet, Artech House, 2003.*
5. **ESCALLE, P:** G. *Modelado y Evaluación de Estrategias de Seguimiento de terminales Móviles. Análisis de la carga de señalización en la Red de Acceso y en la Red Inteligente. Departamento de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia, 2002.*
6. **CHRISTENSEN, G:** *Mobile Networking.* 2000, 6 p. Disponible en: <http://www.mobile.com>.
7. **CHEN, Hsiao-Hwa:** *CDMA Technologies 2007.*
8. **ANTTALAINEN, Tarmo:** *Telecommunications network engineering 2003.*
9. **ZINGANGIROV, Kamil:** *Theory of code division Multiple Access Communication 2004.*
10. **JAMES, Caffery.Jr:** *Wireless location in CDMA cellular radio 1999.*
11. **SWEDBERG, G:** *La solución de localización móvil de Ericsson.* 1999, vol. 4, 8 p.
12. **3G News Room:** <http://www.3gnewsroom.com>.
13. **Qualcomm:** <http://www.qualcomm.com>.
14. **GSM World:** <http://www.gsmworld.com>.
15. **ITU-T IMT-2000:** <http://www.imt-2000.org/portal>.
16. **HERNANDEZ, Rolando Alfredo. COELLO, Sayda:** *El paradigma cuantitativo de la investigación científica.2002.*
17. **HOWARD, Tim:** *GSM-GPRS and Edge performance. 2003.*
18. **STEELE, R:** *GSM, cdmaone and 3G systems. 2001.*

19. **BORKO, Furht:** *Advanced wired and wireless networks. 2005.*
20. **JEFFREY, A:** *Fundamental of wimax. 2007.*
21. **GOULD, R, S.** *GSM, cdmaOne and 3G Systems. 2001.*
22. **AAROUD, A. BOUNABAT, B.** *New approach to designing GPRS location Update function 2006.*
23. **ANDERSSON, C.** *GPRS and 3G wireless application 2001.*
24. **GROSS, F.** *Smart antennas for wireless 2005.*
25. **GLASIC, S.** *Advanced wireless network 4g technologies 2006.*
26. **KREHER, R.** *UMTS Performance Measurement 2006.*
27. **KUHN, V.** *Wireless Communications over MIMO Channels 2006.*
28. **PEREZ, Y. GUERRA, S. GUZMAN, O. CALZADILLA, W.** *Tecnología de antenas inteligentes (AI). Estudio y posible desarrollo en Cuba de algoritmos adaptativos para AI.*

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS:**

**AAA: (Authentication, Authorization, Accounting)** en español: Autenticación, autorización y contabilidad. Es un componente de la arquitectura CDMA2000.

**A-GPS:** (Global positioning system assisted) en español: Sistema asistido de posicionamiento global. Constituye un método de localización.

**AM:** (Amplitude Modulated) en español: Amplitud modulada. Tipo de transmisión de señal que se basa en la amplitud de la onda modulada.

**AoA:** (Angle of Arrival) en español: Ángulo de arribo. Consiste en un método de localización de móviles.

**AMPS:** (Advanced Mobile Phone Service) en español: Sistema telefónico móvil avanzado. Es un sistema de telefonía móvil de primera generación.

**A-FLT:** (Advanced Forward Link Trilateration) en español: Trilateración de la señal hacia adelante. . Consiste en un método de localización de móviles.

**AT&T:** (American Telephone and Telegraph) en español: La Corporación de Telegrafía y Telefonía de Estados Unidos. Es una compañía estadounidense de telecomunicaciones.

**BCCH:** (Broadcast Control Channel) en español: Canal de control de Broadcast. El BCCH es el encargado de llevar un patrón repetitivo de la información del sistema de mensajes que describen la identidad, la configuración y características disponibles de la BTS.

**BTS:** (Base Transceiver Station) en español: Estación base transceptora. Es una instalación fija de radio para la comunicación bidireccional.

**BSC:** (Base Stations Controller) en español: Controlador de estación base. Estación de control de antenas que forma parte de la arquitectura de CDMA2000 entre otras.

**CDMA:** (Code Division Multiple Access) en español: Acceso múltiple por división de código. Es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio.

**CGI:** (Cell Global Identity) en español: Identidad Global celular. Consiste en un método de localización de móviles.

**DNS:** (Domain Name System) en español: Sistema de nombre de dominio. Es una base de datos distribuida y jerárquica que almacena información asociada a nombres de dominio en redes.

**FCC:** (Federal Communications Commission) en español: Comisión de comunicaciones federales. Es una agencia estatal independiente de Estados Unidos.

**FDMA:** (Frequency Division Multiple Access) en español: Acceso múltiple por división de frecuencia. Es una técnica de multiplexación utilizada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como analógicas, principalmente de radiofrecuencia, y entre ellos en los teléfonos móviles de redes GSM.

**FQHN:** (Fully Qualified Host Name) en español: Nombre del equipo totalmente especificado. Es un nombre de host.

**FM:** (Frequency Modulated) en español: Frecuencia modulada. Tipo de transmisión de señal que se basa en la frecuencia de la onda modulada.

**GPRS:** (General Packet Radio Service) en español: Servicio de radio paquete general. Es una extensión del Sistema GSM.

**GLONASS:** (Global Orbiting Navigation Satellite System) en español: Sistema satelital de navegación orbital global. Es un Sistema Global de Navegación por Satélite desarrollado por Rusia y que representa la contrapartida al GPS.

**GPS:** (Global positioning system) en español: Sistema de posicionamiento global. Es un Sistema Global de Navegación por Satélite.

**GSM:** (Global System for Mobile Communication) en español: Es un sistema estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles de segunda generación.

**HA:** (Home Agent) en español: Agente local. Es un componente de la arquitectura CDMA2000.

**HLR:** (Home Location Register) en español: Registro de locaciones base. Es una base de datos que contiene información referente a la localización de móviles.

**IEEE:** (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) en español: Siglas de "The Institute of Electrical and Electronics Engineers". Es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

**ISP:** (internet services provide) en español: Proveedor de servicios de internet. Empresa dedicada a conectar a Internet a los usuarios.

**IETF:** (Internet Task Force) en español: Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet. Es una organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet.

**IMTS:** (Improved Mobile Telephone Service) en español: Sistema de Telefonía Móvil Mejorado. Es un sistema de comunicación móvil analógico que fue implementado en los años 60.

**IMSI:** (International Mobile Subscriber Identity) en español: Identidad Internacional del Abonado a un Móvil. Es un código de identificación único para cada dispositivo de telefonía móvil.

**ISP:** (Internet Service Provider) en español: Proveedor de servicios de internet. Es una empresa u organismo encargada de brindar servicios en internet.

**IP:** (Internet Protocol) en español: Protocolo de internet. Protocolo de comunicación de Internet, que permiten la transmisión de información en redes.

**INMARSAT:** (International Maritime Telecommunication Satellite) en español: Telecomunicación satelital internacional y marítima. Es una compañía del Reino Unido que provee soluciones de Telecomunicación Satelital Móvil.

**LBS:** (Localization base services) en español: Servicios basados en la localización. Son un conjunto de servicios que se brindan, teniendo como base la localización de los terminales móviles.

**LTE:** (Long Term Evolution): en español: Evolución a Largo Plazo. Así se conoce al estándar evolutivo correspondiente a la 4g de la familia de GSM.

**MS:** (Mobil station) en español: Estación móvil. Estación de telefonía móvil.

**NAVSTAR:** ( Navigation Satellite Timing and Ranging) en español: Sistema de posicionamiento global. Es un Sistema Global de Navegación por Satélite.

**NTT:** (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) en español: Compañía de telégrafos y telefonía de Japón. Es una empresa de telecomunicaciones líder en el mercado nipón.

**NMT:** (Nordic Mobile Telephone System) en español: Telefonía Móvil Nórdica. Es un sistema de telefonía móvil definido por las autoridades de telecomunicaciones escandinavas.

**PCS:** (Personal Communication Services) en español: Servicio de Comunicación Personal. Es el nombre dado para los servicios de telefonía móvil digital en varios países y que operan en las bandas de radio de 1800 o 1900 MHz.

**PHS:** (Personal Handyphon System) en español: Sistema de teléfonos personales. Sistema telefónico utilizado en un principio en Japón por la compañía NTT con la finalidad de tener un estándar enfocado más a la transferencia de datos que el resto de los estándares 2G.

**QoS:** (Quality of Services) en español: Calidad de servicio. Son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado brindando calidad de servicio, que es la capacidad de dar un buen servicio.

**RN:** (Radio Network) en español: Red de radio. Componente de la arquitectura CDMA2000.

**SMS:** (Short Message Service) en español: Servicio de mensajería corta. Es un servicio brindado por los móviles que permite la transmisión de texto.

**SMV:** (Selection mode Vocoders) en español: Son las siglas de Selectable Mode Vocoder. Constituyen una de las versiones de codificadores de voz en radiotelefonía.

**SS:** (Spread Spectrum) en español: Espectro ensanchado. Técnica de transmisión de ondas.

**SS7:** (Signaling System 7) en español: Sistema de señalización por canal común 7. Protocolo desarrollado por At&T.

**TDOA:** (Time Difference Of Arrival) en español: Tiempo de diferencia de arribo. Consiste en un método de localización de móviles.

**TDMA:** (Time Division Multiple Access) en español: Acceso múltiple por división de tiempo. Es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio.

**TMSI:** (Temporal Mobile Subscriber Identity) en español: Identidad suscriptor temporal del móvil.

**TIA:** (Telecommunications Industry Association) en español: Asociación de industrias de telecomunicaciones. Es una asociación de comercio en los Estados Unidos que representa casi 600 compañías.

**TOA:** (Time Of Arrival) en español: Tiempo de arribo. Consiste en un método de localización de móviles.

**UBM:** (Ultra Mobile Broadband) en español: Ultra Móvil de Banda Ancha. Así se denomina el estándar correspondiente a la 4g de la familia de CDMA.

**UMTS:** (Universal Mobile Telecommunications System) en español: Sistema de telecomunicación móvil universal.

**UCT:** (Universal Coordinate Time) en español: Tiempo universal coordinado.

**VLR:** (Visitor Location Register) en español: Registro de posiciones del visitante. Es una base de datos que contiene información referente a la localización de móviles.

**WAP:** (Wireless Application Protocol) en español: Protocolo de aplicaciones inalámbricas. Es un estándar abierto internacional para aplicaciones que utilizan las comunicaciones inalámbricas.

**WCC:** (Wireless Communications Companies) en español: Compañía de comunicaciones inalámbricas.

**WCDMA:** (Wideband Code Division Multiple Access) en español: Acceso múltiple por división de código y ancho de banda. Es el estándar evolutivo de 3G que evoluciona directamente de GSM-GPRS, también conocido como UMTS.

**Wi-Fi:** (Wireless Fidelity) en español: Fidelidad inalámbrica. Es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en lugar de cables.

**WiMAX:** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) en español: interoperabilidad mundial para acceso por microondas. Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última generación. Que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio.

## **ANEXOS.**

*Entrevista a Máster en Sistemas de telecomunicaciones Msc Pedro Arzola Morris. Día 8 del mes de junio del año 2009.*

### **¿Qué es una antena multiarray?**

*“Un arreglo de antenas es un conjunto de antenas simples, generalmente iguales y orientadas hacia la misma dirección, las cuales son acomodadas en una disposición física determinada, relativamente cercanas unas respecto a otras, además cada antena es manejada por un mismo sistema de separación de señal. Estas son capaces de concentrar la radiación en direcciones deseadas.”*

### **¿Qué es una antena inteligente?**

*“Es la combinación de un arreglo de antenas con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno.*

*Una antena inteligente es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento.”*

### **¿Cómo Funcionan las Antenas Inteligentes?**

*“Las antenas inteligentes usan arreglos de antenas de baja ganancia que son conectados y combinados en la red, es decir, no existen antenas inteligentes, pero sí sistemas de antenas inteligentes los cuales combinan arreglos de antenas con algoritmos de procesamiento digital de señales que hacen que los sistemas de antenas sean “Inteligentes”. Los arreglos son muy importantes en el análisis de las antenas inteligentes, estos permiten modificar los lóbulos de radiación de la radio base según la conveniencia.”*

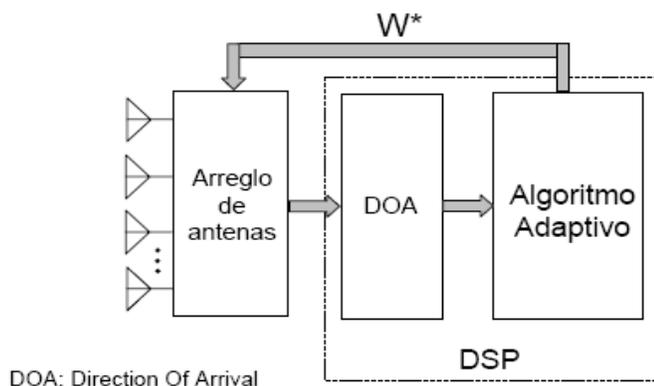
---

### **¿Se pueden producir Antenas Multiarray para implementar las técnicas híbridas AoA/TOA y optimizar la precisión de la localización para redes celulares en el país?**

El MsC. Pedro Arzola Morris, del Dpto. de Sistemas de Telecomunicaciones, del IPSJAE, catedrático y especialista de experiencia nacional e internacional en temas de Sistemas de Antenas, Microondas y Líneas de Transmisión, afirma: *“a mediados de este decenio, se desarrolla en el IPSJAE prototipos no funcionales de antenas inteligentes (AI), que por demás utilizan ARRAYS de antenas. Con modestos recursos se logra realizar 2 configuraciones muy simples de AI, una básica de haz conmutado (SB, Switched Beam), y otra de mediana inteligencia de haz de seguimiento (Scanning), la cual ejecuta algoritmos DoA (Direction of Arrival) para identificar la dirección de arribo de las señales de los usuarios... En correspondencia con este aporte y del alcance de las AI -donde en funciones sólo existen 15 en el mundo-, alega que es posible ir más allá de las antenas ARRAY, y fabricar AI con una reducción del al menos un 80% del costo en el mercado internacional. Justifica además, que desde el punto de vista de un informático, el aporte fundamental radica en la implementación de algoritmos adaptativos en el procesador digital de señales (DSP, Digital Signal Processor) de un sistema de AI, en caso del uso de la técnica de haz adaptativo, la cual constituye el máximo nivel de inteligencia que podría brindar un sistema de antenas. Finalmente, comenta sobre las grandes perspectivas de los métodos de localización propuestos por los autores de esta tesis, considerando las potencialidades del uso de AI”.*

Brindando con las mismas numerosas ventajas como son:

- Mayor directividad (mayor ganancia y mayor selectividad angular).
- Incremento de la zona de cobertura.
- Reducción de la potencia transmitida.
- Reducción de la propagación multitrayecto.
- Reducción del nivel de interferencia.
- Mejoras en la seguridad.
- Introducción de nuevos servicios.



**Fig. 1 Sistema básico de antenas inteligentes.**

### ¿Dónde es que se reduce el costo de las Antenas?

*“Las antenas entre otros dispositivos contienen un elemento electrónico capaz de convertir la señal analógica a digital, este elemento se puede crear con nuestros propios ingenieros electrónicos, que son lo suficientemente capaces de lograr el correcto funcionamiento del equipo luego de su creación, Pero el peso fundamental del costo de estas antenas está en el DSP que no es más que el procesador (Chip) de la señal digital, este procesador contiene algoritmos que son los que le otorgan a la antena la inteligencia, dichos algoritmo de igual manera se puede implementar en nuestro país, con la participación de Ingenieros Informáticos y Licenciados Cibernéticos con lenguajes de alto nivel como es el C++.”*

### ¿Sería factible la implantación de estas antenas en el territorio nacional?

*“Para la expansión inicial de un sistema de comunicaciones inalámbricas, se diseña la red para que cumpla con los requisitos de cobertura, incluso con muy pocos subscriptores en la red, debe existir el número suficiente de BTS que proporcionen cobertura en las áreas más críticas. Las antenas inteligentes pueden aliviar este problema, al permitir tamaños de celdas más grandes en un despliegue inicial de la red, esto implica menos BTS, y por consiguiente disminuyen los costos de implementación inicial. Por lo anteriormente explicado estoy seguro que sería factible.”*