

**HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE COBERTURA DE UNA SEÑAL  
RF EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MOVIL CELULAR**

**CESAR ANDRES OCAMPO FLETCHER  
ALVARO PERAFAN ALVARADO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2007**

**HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS DE COBERTURA DE UNA SEÑAL  
RF EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MOVIL CELULAR**



**CÉSAR ANDRÉS OCAMPO FLETCHER  
ÁLVARO PERAFÁN ALVARADO**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director  
VICTOR MANUEL QUINTERO FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2007**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Popayán, 2 de Marzo de 2007**

Gracias a Dios por poner en mi camino las herramientas para ser libre y feliz.

Gracias a mi madre por luchar toda su vida para que cosechemos juntos este momento.

Gracias a mi hija por ser el motor de mi vida, mi luz y mi esperanza de cada día.

Gracias a mi familia, a la que ahora disfruto.

**César**

Agradezco a Dios, a mis padres, mi familia, mis maestros, mis amigos, que con su sacrificio y perseverancia me enseñaron el camino y fueron mi compañía en este recorrido, gracias a quienes comparten hoy conmigo y especiales gracias a aquellos que aunque quisieron no pudieron verme alcanzar esta meta.

**Álvaro**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR.....	4
1.1.1 Historia de la telefonía móvil celular.....	4
1.1.2 Terminología.....	6
1.1.3 Evolución .....	12
1.1.4 Arquitectura básica de la telefonía móvil celular .....	14
1.1.5 Tipos de redes y estándares .....	15
1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO .....	26
1.3 MODELOS DE PROPAGACION .....	30
1.3.1 Modelo Hata-Okumura .....	34
1.3.2 Modelo COST-Walfisch-Ikegami.....	37
1.4 SIG - SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	41
1.4.1 Definición.....	42
1.4.2 Funciones .....	42
1.4.3 Funcionamiento.....	43
1.4.4 Componentes de un SIG .....	44
1.5 ARCVIEW .....	46
1.6 AVENUE .....	48
1.7 PROYECTOS Y EXTENSIONES .....	50
2. MODELADO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE USANDO ARCVIEW.....	52
2.1 View (vista) .....	53

2.2	Theme (Tema).....	54
2.3	Table (tablas):.....	56
2.4	Chart (gráficos): .....	56
2.5	Layouts (composiciones de mapas para impresión )......	57
2.6	Script (Entorno de programación): .....	58
2.6.1	Introducir el código .....	59
2.6.2	Compilar el script .....	60
2.6.3	Testear y depurar el script.....	61
2.6.4	Guardar el script.....	61
2.7	Construcción del MTD .....	61
2.8	Modelado de la herramienta software.....	62
2.8.1	Descripción del problema (Requerimientos).....	62
2.8.2	Diagrama de casos de uso y su descripción.....	63
2.8.3	Diagrama de clases .....	69
3.	ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE .....	71
3.1	Especificaciones generales.....	71
3.2	Pruebas y resultados .....	73
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
	BIBLIOGRAFIA.....	85



## INTRODUCCION

No es un secreto que las tecnologías de telefonía móvil celular van avanzando considerablemente en su desarrollo y alcances y cada vez mas las compañías y los usuarios necesitan una mayor cantidad de prestaciones de dichas tecnologías, entendiéndose por esto la cantidad de servicios y opciones que los dispositivos móviles y sus respectivas redes deben brindar a los usuarios así como la cobertura que estas redes deben tener sobre el territorio para garantizar una comunicación en todo momento y en todo lugar.

Colombia no ha sido ajena a esta tendencia mundial. Según la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones, CRT, mientras en 1995 la penetración de los servicios de telefonía móvil celular alcanzaba solamente un 0.66% con respecto a la población del país, en junio de 2006 esta cifra aumentó a un 60.26% en función a un crecimiento acelerado de la demanda desde el año 2004, lo que lleva a considerar por parte de esta organización, una proyección de penetración de la telefonía móvil en el país de un 94.7% para el año 2010.

El desarrollo vertiginoso actual de las tecnologías de comunicación así como la competencia creciente en el sector hace imprescindible el uso de herramientas que faciliten el proceso de planeación de una red para su posterior implementación, teniendo en cuenta aspectos de costos, cobertura, capacidad y calidad entre otros.

Esta necesidad se comprende aún más si se piensa un poco en la complejidad actual de la redes de telecomunicación, donde los resultados analíticos no son viables o bien sólo sirven para dar una idea aproximada como punto de partida.

Entre estas herramientas, juegan un papel fundamental las herramientas software, las cuales permiten realizar pruebas a distintos niveles en modelos simplificados de la realidad y reducir así los tiempos de desarrollo y aumentar la fiabilidad de los resultados por no hablar de lo complicado y costoso que resulta en ocasiones probar nuevos





protocolos o productos en sistemas reales y los problemas que causaría un malfuncionamiento en un sistema real.

Con estas cifras, y con el avance en las aplicaciones y servicios que los dispositivos móviles pueden prestar a sus usuarios utilizando las redes de telefonía móvil celular es fácil concluir que la infraestructura y la plataforma de comunicaciones sobre la cual dichas aplicaciones van a funcionar debe tener altos niveles de calidad y deben considerar la mayor cantidad de factores posibles para que el montaje de dicha infraestructura no conlleve a inversiones económicas erradas para las compañías prestadoras del servicio, teniendo en cuenta además que la complejidad de la red implica que una optimización eficiente difícilmente puede ser realizada en una red real en funcionamiento y por tanto, este trabajo se debe llevar a cabo a nivel de software, herramientas que analizarán distintos escenarios, dejando la red real para pequeños ajustes finales, lo cual se puede garantizar realizando estudios previos a la instalación de redes de telefonía móvil celular o a la ampliación de las existentes teniendo en cuenta modelos de propagación conocidos y apoyados en métodos de predicción de cobertura sobre sistemas software con el fin de evitar costosas equivocaciones.

Este trabajo es una primera aproximación a una herramienta software capaz de presentar resultados gráficos basados en modelos de propagación conocidos haciendo uso de datos proporcionados por mapas geográficos digitales y utilizando sistemas de información geográficos, para apoyar dichos datos. Sobre este tema, el marco de acción de la aplicación se ha concentrado en la utilización de la herramienta ARCVIEW como el sistema de información geográfica y se ha recurrido a su propio lenguaje de programación llamado AVENUE para realizar las adecuaciones software necesarias con el fin de alcanzar el objetivo de obtener los datos necesarios para la presentación de los resultados.

En el primer capítulo, se realiza un acercamiento a la actualidad en el mundo de la telefonía móvil celular y su desarrollo a través de los años, así como una descripción de sus conceptos básicos, con el fin de tener el marco teórico claro para entender las tecnologías de telefonía móvil y comprender la importancia de realizar un desarrollo software de este tipo. Además se aclaran los conceptos teóricos sobre los sistemas de



información geográfica y se entra en detalle sobre la herramienta ARCVIEW y su lenguaje de programación AVENUE.

Existen, después de realizar este amplio recorrido de investigación, muchos modelos de propagación y métodos de predicción para la realización de cálculos de coberturas y de pérdidas de propagación para diferentes escenarios, por lo que se han seleccionado para este trabajo dos modelos de propagación que se utilizaron como base para la obtención de los resultados con el software: el modelo de Hata-Okumura y el modelo COST-Walfisch-Ikegami, debido a su aplicabilidad en el entorno seleccionado, su sencillo manejo y su popularidad lo que facilitó la búsqueda de la información. Estos dos modelos también son explicados en el primer capítulo.

Se seleccionó como escenario para la elaboración de la herramienta software, obtención de resultados y los posteriores análisis, a la ciudad de Popayán debido a que es el entorno más cercano a la realidad del estudiante de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, utilizando así una cartografía disponible de esta ciudad como origen de los datos para el sistema de información geográfica. En el capítulo 2 se puede encontrar el modelado de la herramienta y la descripción de cómo se utilizó a ARCVIEW para su elaboración.

En el Capítulo 3 se explica el funcionamiento de la herramienta software desarrollada y su manejo para la obtención de resultados.

En el capítulo 4 se describirán algunas conclusiones a las cuales ha permitido llegar la implementación de la herramienta y el proceso de investigación, además, se proponen algunas recomendaciones para futuros proyectos que deseen abordar temas similares a los que aquí se han manejado.

Solo nos resta agradecer a cada una de las personas que hicieron posible llevar a feliz término este trabajo de grado e invitar a los estudiantes a seguir ahondando en estos conceptos y desarrollos, ya que permite observar un panorama claro sobre uno de los temas en telecomunicaciones que más desarrollo ha alcanzado en los últimos años.



## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

La evolución de las redes de telecomunicaciones ha llevado al desarrollo de los sistemas de comunicación móvil celular, los cuales brindan al usuario la libertad de establecer una comunicación desde cualquier lugar, en cualquier momento, en presencia o ausencia de movimiento y con unas características de calidad determinadas.

#### 1.1.1 Historia de la telefonía móvil celular

La telefonía móvil celular es uno de los tipos de comunicación inalámbrica más conocidos por los usuarios móviles. Esta es llamada “celular” debido a que utiliza un conjunto de Estaciones Base (BS, Base Station) para dividir un área de servicio en múltiples celdas o células. Las llamadas celulares son transferidas desde una estación base hasta otra estación base siguiendo a un usuario o Estación Móvil (MS, Mobile Station) que se está moviendo dentro del área de servicio del sistema de telefonía móvil celular inclusive estando en la misma área de cobertura de una misma estación base.

El concepto básico de telefonía celular tiene su inicio en 1947, cuando los científicos analizaron que utilizando teléfonos inalámbricos o simples teléfonos móviles y dividiendo una gran área en múltiples celdas con estaciones base de baja potencia (áreas de servicio reducidas), con un reuso de frecuencias adecuado podían aumentar sustancialmente la capacidad de tráfico generada por llamadas de usuarios, que si utilizaban una sola estación base de gran potencia. Sin embargo en aquel entonces la tecnología para implementar este sistema no existía. En Estados Unidos cualquier tipo de difusión de señales de radio y televisión o cualquier otro servicio sobre ondas de radio, esta bajo la jurisdicción y regulación de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission). Un teléfono móvil celular es un tipo de radio de comunicación de dos vías que utiliza un modo de comunicación Full-Duplex. En 1947,



AT&T<sup>1</sup> le propuso a la FCC que asignara un extenso número de frecuencias o canales radio del espectro electromagnético con el fin de ser utilizadas por el sistema de telefonía móvil y así hacerlo factible, además de incentivar así en AT&T la investigación sobre esa nueva tecnología y sistema. La FCC aprobó un rango de frecuencias muy limitado que solo permitió la realización de veintitrés (23) conversaciones simultáneas para la misma área de servicio, lo que no permitió crear un mercado suficiente.

La FCC reconsideró esta posición en 1968 cuando afirmó que “si la tecnología permite que el trabajo que depende de los servicios móviles mejore, nosotros incrementaremos el número de frecuencias asignadas, liberando las ondas de radio para más teléfonos móviles”. AT&T y los Laboratorios Bell (Bell Labs) realizaron la propuesta a la FCC de un sistema definido por una gran cantidad de pequeñas celdas, trabajando a baja potencia, con torres emisoras-receptoras (estaciones base) cada una cubriendo una de las celdas de pocos kilómetros de radio pero que en conjunto brindaban servicio y cobertura a una área extensa. Cada estación base utilizaba un número reducido de frecuencias del total de canales o frecuencias que fueron asignadas para el sistema. Debido a que los usuarios y por lo tanto sus teléfonos se moverían a través del área de servicio, la llamada podría ser atendida por cualquiera de las estaciones base del sistema.

El Doctor Martin Cooper, antiguo Gerente General de la División de Sistemas de Motorola, es considerado el inventor del primer microteléfono portátil moderno. Cooper realizó la primera llamada con un teléfono de estas características en el año de 1973. La llamada fue realizada a su competidor, Joel Engel, líder de investigación de Bell Labs.

En 1977 AT&T y Bell Labs construyeron un prototipo de un sistema de telefonía móvil celular. Un año después lanzaron un sistema piloto en la ciudad de Chicago con cerca de 2000 usuarios de prueba. En 1979, en un desarrollo separado, entró en operación en Tokio el primer sistema de telefonía móvil celular comercial. En 1981, Motorola puso en marcha el segundo sistema de radio-telefonía celular de prueba en el área de Washington y Baltimore; este mismo año los países nórdicos ponían en marcha un sistema similar al que aparecería en los Estados Unidos conocido como AMPS. En 1982,

---

<sup>1</sup> La Corporación Americana de Telefonía y Telegrafía (AT&T, American Telephone and Telegraph Corporation) es una compañía norteamericana de telecomunicaciones que inició operaciones con la primera red telefónica de los Estados Unidos y ahora presta gran variedad de servicios de telecomunicaciones.

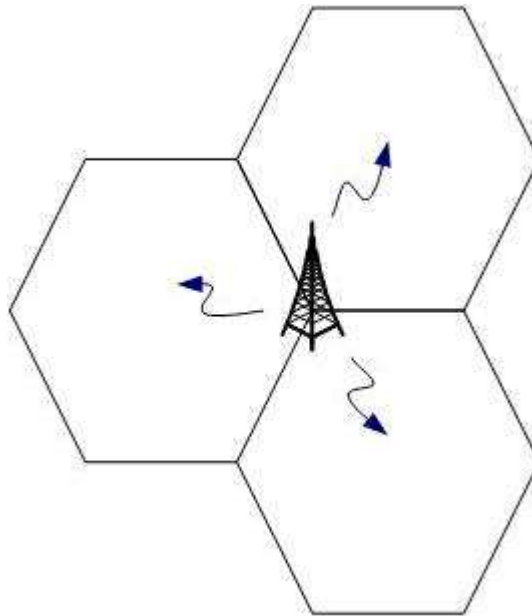


la FCC finalmente autorizó el servicio celular de manera comercial para los Estados Unidos. Un año después fue puesto en marcha el primer sistema o servicio de telefonía móvil celular analógico comercial americano o Servicio de Telefonía Móvil Avanzado (AMPS, Advanced Mobile Phone Service) en Chicago por parte de Ameritech.

### 1.1.2 Terminología

Se le denomina celda al área geográfica determinada por la cobertura de la señal de radio proveniente de las antenas de las estaciones base, y por lo tanto es la unidad geográfica básica del sistema de telefonía celular. Esta cobertura es representada por un hexágono debido a la similitud que tiene con el área real de la celda, además, la necesidad de representar conjuntos de celdas (cluster) sin brechas entre cada una de ellas, permitiendo una mejor visualización del sistema y entendimiento del mismo. En la práctica estos hexágonos no son perfectos, debido a los accidentes naturales y las construcciones realizadas por el hombre que limitan esta geometría. El término celular proviene de la forma de “panal de abejas” que tiene el área de servicio dividida por las celdas para su cobertura total.

En la figura 1 se puede observar un grupo de celdas con estas características. En el centro de los tres hexágonos, o de las tres celdas, se encuentra el lugar de la estación base, donde están ubicados los equipos de radio y las antenas transmisoras y receptoras. Cada una de estas estaciones base da cobertura a una celda.



**Figura 1. Descripción del término celular**

De acuerdo a esto, la estación base es un punto y la celda es un área geográfica que depende de ese punto. Las antenas transmiten hacia el interior de la celda y cubren solo una parte de la misma, no su totalidad. Las antenas de las otras estaciones base cubren las otras partes de la celda. En conclusión, las estaciones base no están en el centro de la celda sino en las esquinas de la misma.

Así, la estación base suministra a cada sector su propio grupo de antenas y grupo de canales. En la figura anterior se puede ver como la estación base transmite y recibe con tres conjuntos de canales diferentes uno para cada sector de cada una de las tres celdas a las cuales proporciona la cobertura. Típicamente tres sectores son suficientes.

Cuando las celdas se agrupan, forman los denominados clusters<sup>2</sup>. En la siguiente figura (Figura 2) se observa un cluster de 7 celdas, tamaño dado por el parámetro  $n$ . ( $n=7$ ) (Visión norteamericana, en Europa el reuso es por 4, en CDMA, WCDMA el reuso es por 1).

---

<sup>2</sup> Grupo o agrupación.

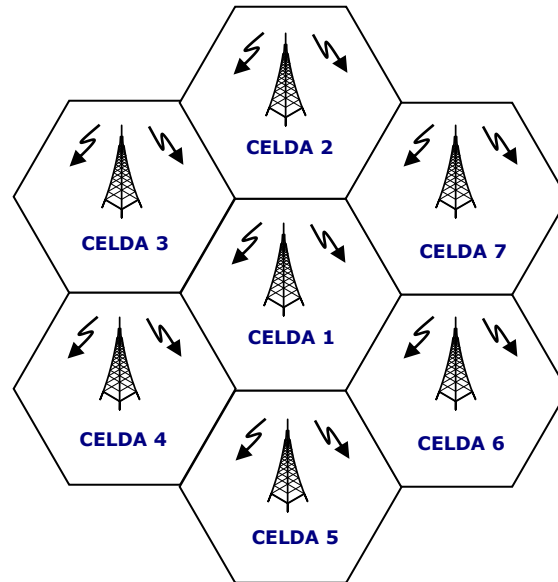


Figura 2. Clúster de celdas con  $n=7$

Debido a que un pequeño y limitado número de canales de radiofrecuencia están disponibles para el sistema de telefonía celular, los investigadores e ingenieros debieron idear una forma para poder reusar las frecuencias en celdas distintas y separadas con el fin de brindar mayor capacidad a este tipo de sistemas. La solución adoptada por la industria fue entonces planificar las frecuencias para las llamadas o utilizar el reuso de frecuencias. El reuso de sistemas fue implementado con la reestructuración de la arquitectura del sistema de telefonía móvil bajo el concepto de celular.

El concepto de reuso de frecuencias está basado en asignar para cada celda un grupo de canales de radio. Este grupo de canales es completamente diferente de los que son usados en las celdas contiguas. Estos canales son usados nuevamente en celdas que están lo suficientemente lejos con el fin de que no exista interferencia.

Por interferencia se entiende que en el receptor, junto a la señal útil, se presenta una señal indeseada que corresponde a otra comunicación y que tiende a degradar y dificultar



la recepción de la señal de interés. En un sistema móvil celular se definen los siguientes tipos de interferencia:

- Interferencia Cocanal: Es una interferencia que se presenta en la misma banda de frecuencia de la señal útil.
- Interferencia de canal adyacente: Es una interferencia que se presenta por una señal en una banda distinta a la de la señal útil.

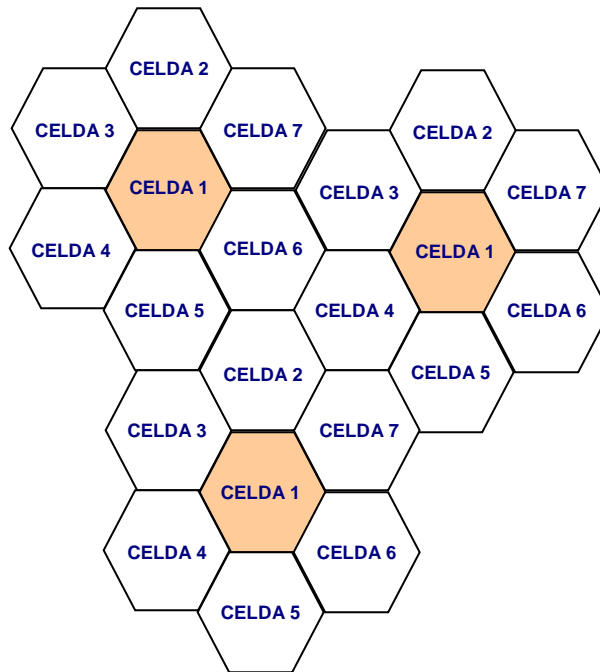
Obviamente las interferencias mas perjudiciales son las cocanal, ya que las de canal adyacente pueden, en general, eliminarse o reducirse con la propia selectividad del transmisor y del receptor.

En la figura 3 se puede observar la distancia que existe entre las celdas que cuentan con los mismos canales asignados (celdas de color) para el caso en que  $n=7$ . El comportamiento es similar para otro tipo de sistemas, dependiendo de la cantidad de celdas del cluster.

Así, debido a que el número de celdas del cluster es de 7 ( $n=7$ ) para este caso, el factor de reuso de frecuencias para cada celda es de  $1/7$ . Esto significa que cada celda está usando  $1/7$  de los canales disponibles. (Visión norteamericana).

Desafortunadamente, las consideraciones económicas hacen que el concepto de crear un sistema de telefonía móvil celular constituido por pequeñas celdas que cubra todo el área de servicio no sea viable.





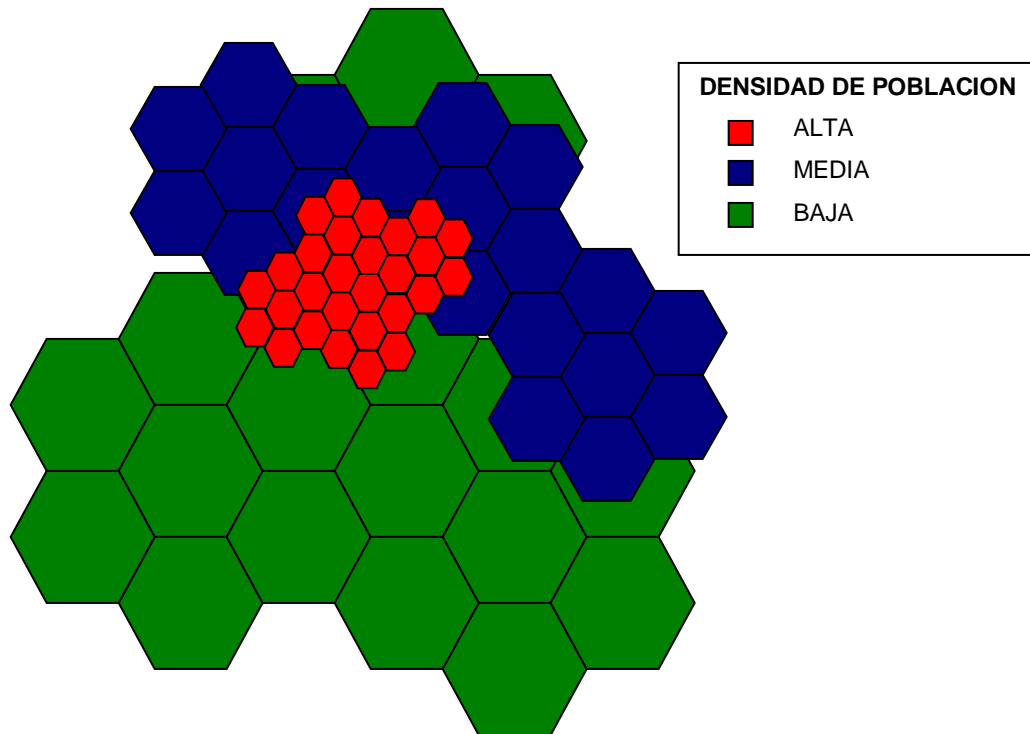
**Figura 3. Ejemplo de distanciamiento de celdas para evitar interferencia**

Debido a esto y con el fin de superar los obstáculos anteriores, los operadores de los sistemas de telefonía móvil celular idearon la división de celdas (Cell Splitting). Entonces, las áreas que contengan un gran número de usuarios estarán cubiertas por pequeñas celdas, mientras que aquellas áreas donde la cantidad de usuarios no es tan alta (por ejemplo, las zonas rurales) estarán cubiertas por celdas grandes con áreas de servicio extensas. La división de las celdas se puede observar en la figura 4 donde se conserva la cantidad de celdas por cluster, pero disminuyen los tamaños de las celdas para algunas regiones.

El obstáculo adicional en el desarrollo de los sistemas de telefonía móvil celular involucra el problema generado cuando un suscriptor o usuario móvil pasa de una celda a otra durante una llamada. Como la celda adyacente no usa los mismos canales de radio, la llamada debe ser transferida desde un canal de radio a otro cuando el usuario cruce la



línea que separa las dos celdas. La caída de la llamada es inaceptable, y por ello fue creado el proceso de handoff (traspaso).



**Figura 4. Ejemplo de división de las celdas según la densidad de población**

El handoff o handover ocurre cuando la red de telefonía móvil transfiere automáticamente una llamada de un canal de radio a otro cuando el usuario atraviesa la línea que separa las dos celdas adyacentes. Durante la llamada, se está utilizando un canal de voz. Cuando el usuario empieza a alejarse del área de cobertura de la estación base la recepción empieza a tornarse débil. Es en este momento que se requiere del handoff. El sistema conmuta la llamada a un canal más fuerte en el nuevo lugar sin interrumpir la llamada y sin advertir al usuario. La llamada continúa normalmente y el usuario no se da cuenta del proceso de handoff. Todo este proceso es posible gracias a la señalización que viaja a través de un canal de radio común llamado de control.



### 1.1.3 Evolución

La primera generación (1G) de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979 por ser estrictamente analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy baja, tenía baja velocidad (2400 baudios<sup>3</sup>). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad basadas en el Acceso Múltiple por división de Frecuencia (FDMA, Frequency Division Multiple Access) y, además, la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es el Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS, Advanced Mobile Phone System) creado por AT&T.

La segunda generación (2G) a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. Los sistemas 2G utilizan protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en algunos de los sistemas de telefonía móvil celular actual. La tecnología de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, Time Division Multiple Access) fue elegida como el estándar de telefonía celular de segunda generación por la Cellular Telecommunications Industry Association. Aparecieron en el mercado de las telecomunicaciones los estándares CDMA y GSM.

El estándar GSM (Global System for Mobile Communications): nació en 1982, cuando las empresas de telecomunicaciones Nordic Telecom y Netherlands PTT le propusieron a la Conferencia Europea de Correo y Telecomunicaciones (CEPT, Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) ahora el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) el desarrollo de un estándar digital de telefonía móvil celular para toda Europa. La Comisión aceptó y reservó la frecuencia de los 900 MHz <sup>4</sup>. Entre 1982 y 1986 los operadores de telefonía, los fabricantes de equipos y los gobiernos se dedicaron al plan de frecuencias y en 1987 se tomó la decisión de que la tecnología debería estar en funcionamiento en 1991. El estándar se obtuvo en 1989 y estuvo en operación en 1992,

---

<sup>3</sup> Baudio: Unidad de medida de velocidad de transmisión de datos. Es el número de cambios de estado (voltaje o frecuencia) de una señal por segundo en una línea o medio de comunicación, normalmente de telefonía. Aunque el término baudio se utiliza como sinónimo de bits por segundo, en realidad, se trata de cosas diferentes, porque sólo a velocidades bajas, los baudios son iguales a los bits por segundo.

<sup>4</sup> Hercio. Es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades. Proviene del apellido del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz. Su símbolo es Hz (escrito sin punto como todo símbolo). En inglés se llama hertz. En la referencia MHz es igual a un millón de hertz.



cuando la empresa finlandesa Radiolinja Ab lanzó el primer servicio mundial GSM. En 1994 se inauguró en Sudáfrica y en Europa, donde la compañía Vodafone pasó a ser la primera operadora capaz de transmitir datos y voz sobre la red GSM.

Por otra parte, el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access) es otra tecnología de segunda generación desarrollada por la empresa Qualcomm. A diferencia de lo que hace TDMA y GSM que le otorgan una porción del espectro a cada usuario, CDMA permite usar la totalidad del espectro. La primera versión de este estándar se publicó en 1993 y fue revisada dos años después bajo el nombre de CDMAOne.

Otras tecnologías predominantes son: IS-136, conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136 y Comunicación Personal Digital (PDC, Personal Digital Communications), éste último creado y utilizado en Japón.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G pueden ofrecer servicios auxiliares, como datos, fax y Servicio de Mensajes Cortos (SMS, Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación.

Muchos de los operadores de sistemas de comunicación móvil celular se movieron a las redes 2.5G antes de entrar masivamente en la tercera generación (3G). La tecnología 2.5G es más rápida, y más económica para actualizar a 3G.

La generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, como: Sistema General de Radio Paquetes (GPRS, General Packet Radio System), Evolución Global para Transmisión de Datos Mejorada (EDGE, Enhanced Data Rates for Global Evolution), entre otros.

La Tercera Generación (3G) se caracteriza por la convergencia de voz y datos en un núcleo IP (Internet Protocol); en otras palabras, es apta para acceso a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunications Union) define 3G sólo por la velocidad de transmisión de datos, que debe ser superior a los 144 Kbps. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están



enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso a Internet. Algunos de los estándares que pertenecen a esta generación son el WCDMA (Wideband- Code Division Multiple Access) que también es conocido como UTMS (Universal Mobile Telecommunications System), la actualización de las redes 2G de GSM; el TD-SCDMA (Time Division Synchronus Code Division Multiple Access) fue desarrollado por la Academia de Ciencias de China y la empresa Siemens y el CDMA2000 el cual es la evolución de CDMA hacia 3G pero la realidad marca que existen distintas variantes de este estándar.

#### **1.1.4 Arquitectura básica de la telefonía móvil celular**

El servicio de telefonía móvil celular emplea una red de celdas distribuidas a lo largo y ancho de un área específica. Esta red está compuesta de varios elementos que permiten su funcionamiento. Uno de los elementos importantes de una red de telefonía móvil celular es el Subsistema de Estación Base (BSS, Base Station Subsystem) el cual controla el enlace con el equipo móvil (ME, Mobile Equipment) . Este Subsistema de Estación Base está compuesto a su vez de dos partes, la Estación Base transmisora-receptora (BTS, Base Transceiver Station) y un Controlador de Estación Base (BSC, Base Station Controller). La Estación Base transmisora-receptora contiene las antenas transmisoras-receptoras que definen una celda mediante el rango de cobertura de la señal radiada y maneja la comunicación mediante los protocolos de comunicación con la estación móvil; el controlador de estación base administra los recursos de radio para una o más BTSs.

Por otra parte, se tiene el Subsistema de Red (NS, Network Subsystem). El componente central de este subsistema es el Centro de Conmutación de servicios Móviles (MSC, Mobile Services Switching Center) el cual actúa como un nodo de conmutación normal con interfaces hacia la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN, Public Switched Telephone Network) o a la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN, Integrated Services Digital Network) entre otras, y adicionalmente suministra toda la funcionalidad necesaria para manejar las llamadas de los suscriptores móviles tales como el registro, la autenticación, la actualización de la localización, el handover y el enrutamiento de las



llamadas a otros usuarios o suscriptores de la red. Estos servicios son proporcionados en conjunto con otros módulos funcionales que hacen parte del subsistema El Registro de Localización de Usuarios del Sistema (HLR, Home Location Register), contiene toda la información administrativa de cada suscriptor registrado junto con la localización actual del móvil. El Registro de Localización del Visitante (VLR, Visitor Location Register) contiene información administrativa seleccionada desde el HLR necesaria para controlar la llamada y prestar los servicios a los cuales el usuario está suscrito. El Registro de Identificación de Equipo (EIR, Equipment Identity Register) es una base de datos que contiene una lista de todos los equipos móviles válidos en la red. Por último el Centro de Autenticación (AuC, Authentication Center) es una base de datos protegida que almacena una clave secreta de identificación de cada móvil. En la Figura 5 se puede observar el esquema modular de esto subsistemas

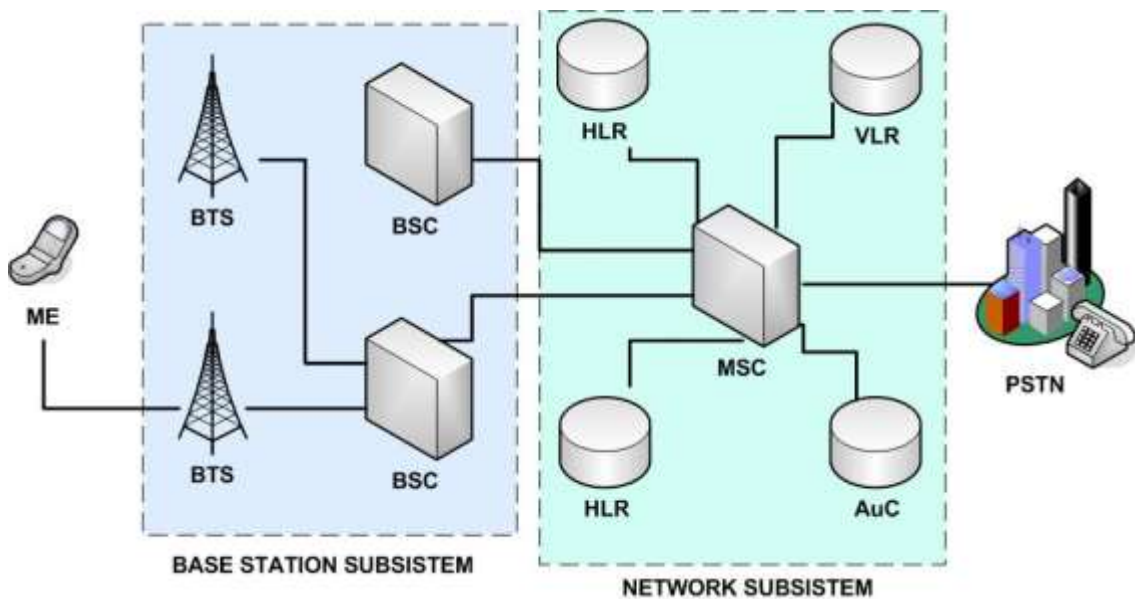


Figura 5. Arquitectura básica de telefonía móvil celular

### 1.1.5 Tipos de redes y estándares

Básicamente existen dos tipos de redes de telefonía móvil celular:



- a. Red de telefonía móvil analógica (TMA): Como su propio nombre indica, en esta red la comunicación se realiza mediante señales vocales analógicas. En su primera versión funcionó en la banda de los 450 MHz, trabajando posteriormente en la banda de los 900 MHz.
- b. Red de telefonía móvil digital: En esta red la comunicación se realiza mediante señales digitales, lo que permite optimizar tanto el aprovechamiento de las bandas de radiofrecuencia como la calidad y la capacidad de transmisión.

En cuanto a los estándares, han aparecido una gran variedad durante la evolución de los sistemas de telefonía móvil celular<sup>5</sup>. Dependiendo del momento en el que aparecen y de los alcances tecnológicos de cada uno de ellos se crean las generaciones.

- a. 0G: Conocida también como radiotelefonía móvil, son aquellos sistemas que precedieron a las modernas tecnologías de telefonía móvil celular. Reciben este nombre por ser sistemas anteriores a los de Primera Generación. Algunos de estos sistemas son los siguientes:
  - PTT: Presionar para Hablar (PTT, Push To Talk) es un método para hablar en líneas half-duplex<sup>6</sup> de comunicación, presionando un botón para la transmisión, permitiendo que la comunicación de voz pueda ser transmitida, y liberando para permitir la recepción en la comunicación.
  - MTS: Sistema de Telefonía Móvil (MTS, Mobile Telephone System). Este fue uno de los primeros sistemas de telefonía móvil. Este sistema telefónico era operado manualmente por un operador. En este caso el operador preguntaba el número del usuario que estaba realizando la llamada, el número del usuario al que llamaba y el lugar desde donde se originaba la llamada, todo esto para poderla enrutar.
  - IMTS: Sistema de Telefonía Móvil Mejorado (IMTS, Improved Mobile Telephone System). Es un sistema de comunicación móvil analógico que fue implementado en los años 60, con muy poco éxito. Surge como necesidad de mejorar los sistemas anteriores, que emitían y recibían en la misma banda de frecuencia y,

---

<sup>5</sup> Ver sección: 1.1.3 Evolución.

<sup>6</sup> Este adjetivo se aplica a los canales de comunicaciones que pueden tener una comunicación bidireccional, pero con la limitante de que no puede ser una comunicación simultánea.



por ende, necesitaban pulsar un botón para alternar entre emisor y receptor. IMTS usaba un transmisor/receptor de muy alta potencia. Esto planteaba un problema claro: los nuevos sistemas IMTS se tenían que implantar muy lejos unos de otros para evitar las interferencias. Esta fue una de las razones de su fracaso. A diferencia de los sistemas PTT, IMTS no emitía y recibía en la misma banda de frecuencias. Esto eliminaba la necesidad de pulsar un botón para alterar la direccionalidad de la comunicación. IMTS ponía a disposición de los clientes 23 canales entre las frecuencias de 150 y 450 MHz.

- AMTS: Sistema de Telefonía Móvil Avanzada (AMTS, Advanced Mobile Telephone System). Este sistema fue un método de radiocomunicación principalmente utilizado en sistemas de radio portátiles japoneses. Este, luego sería reemplazado por el Sistema de Telefonía Móvil de Alta Capacidad (HCMTS, High Capacity Mobile Telephone System), el cual operaba con el mismo tipo de dispositivos y en la banda de los 900 MHz.

b. 0.5G:

- Autotel: También llamado PALM (Public Automated Land Mobile) el cual se puede considerar el “eslabón perdido” entre MTS/IMTS y los posteriores servicios de telefonía celular. Este sistema, utilizó señalización digital (canal de control) para la administración y los mensajes de este tipo (configuración de la llamada, timbre, asignación de canales, etc.) excepto el canal de voz, el cual seguía siendo analógico. Este sistema utilizó canales VHF <sup>7</sup> de alta potencia (35 vatios<sup>8</sup>). Este sistema fue desarrollado para la zona rural de British Columbia, Canadá, donde la construcción de una red celular de baja potencia para cubrir el bosque había sido prohibida.
- ARP: Radio Teléfono para Carro (AutoRadioPuhelin, Car Radio Phone en inglés). Esta fue la primera red de telefonía móvil activada comercialmente en Finlandia. Este sistema fue lanzado en 1971 y alcanzó el 100% de la cobertura

---

<sup>7</sup> VHF: Muy Alta Frecuencia (VHF, Very High Frequency). Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30MHz a 300MHz. Ver sección 1.2: Espectro electromagnético.

<sup>8</sup> Vatio. El vatio o watt es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W. Es el equivalente a 1 julio por segundo (1 J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, el vatio es la potencia producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA).





geográfica en 1978 con 140 estaciones base. ARP operó a una frecuencia de 150 MHz (80 canales en la banda de 147.9 – 154.875 MHz). El rango de potencia utilizada por la transmisión era de 1 a 5 vatios. Al principio utilizaba un sistema Half-Duplex y después de un tiempo evolucionó a un sistema Full-Duplex<sup>9</sup>.

c. 1G: Los teléfonos de primera generación son analógicos, ya que envían la información sobre ondas cuya forma varía de forma continua. Estos solamente se pueden usar para voz y tienen una calidad de llamada altamente variable debido a la interferencia. Otra desventaja importante es la baja seguridad que proporcionan ya que es relativamente sencilla la escucha de llamadas ajenas a través de un de un sintonizador de radio así como la usurpación de frecuencia pudiendo cargar las llamadas a un tercero. Algunos estándares son:

- NMT: Sistema de Telefonía Móvil Nórdico (Nordisk MobilTelefoni or Nordiska MobilTelefoni-gruppen, Nordic Mobile Telephone en inglés). Fue especificado por la Administración de las Telecomunicaciones Nórdicas y puesto en funcionamiento en 1970 y comercialmente en 1981 en respuesta a la creciente congestión y los altos requerimientos de las redes de telefonía móvil en Finlandia, Suecia, Noruega y Dinamarca. NMT es basado en tecnología analógica y cuenta con dos variantes: NMT-450 y NMT-900. El número indica la banda de frecuencia utilizada. El NMT-900 fue lanzado por la necesidad de más canales (capacidad) para el transporte con respecto a NMT-450.
- AMPS: Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS, Advanced Mobile Phone System) es un sistema de telefonía móvil desarrollado por los laboratorios Bell. Se implementó por primera vez en 1982 en Estados Unidos. Se llegó a implantar también en Inglaterra y en Japón, aunque con otros nombres. AMPS y los sistemas telefónicos móviles del mismo tipo dividen el espacio geográfico en una red de celdas. AMPS usa 832 canales dobles, formados por 832 simples de bajada (downlink, enlace de bajada, BS a MS) y otros 832 simples de subida (uplink, enlace de subida, MS a BS), cada uno de ellos con un ancho de banda

---

<sup>9</sup> Un sistema Full-duplex es utilizado actualmente en la mayoría de las diferentes redes de telecomunicaciones, permitiendo el envío y recepción de mensajes al mismo tiempo utilizando desde una frecuencia diferente hasta otro cable



de 30KHz. La banda de frecuencias usada va de 824 a 849 MHz para los canales de transmisión y de 869 a 894 MHz para los canales de recepción. No todos los canales se usan para comunicación de los usuarios, sino que hay también canales destinados a control (señalización), a asignación de canales de conversación y para alertar de llamadas entrantes.

- CDPD: Cellular Digital Packet Data utilizo los sistemas que operan en bandas de 800/900 MHz para la transmisión de datos alcanzando velocidades de 19.2 kbps<sup>10</sup> y habilitando este servicio para la tecnología AMPS creando así la primera tecnología que transmitía voz y datos al mismo tiempo.
- Mobitex: Este es un estándar abierto basado en OSI<sup>11</sup>, fue la primera red inalámbrica de datos de acceso público introducida en 1990. Desarrollada por Ericsson poniendo un gran énfasis en la seguridad y confiabilidad, razón por la cual es usada por servicios militares, de policía, bomberos y ambulancias. Mobitex es una red de conmutación de paquetes, de banda angosta, principalmente diseñada para transmisión de datos en canales con un ancho de banda de 12.5 KHz. En Estados Unidos funciona en la banda de 900 MHz y en Europa entre los 400 y 450 MHz.

d. 2G: La llegada de la segunda generación de telefonía móvil fue alrededor de 1990 y su desarrollo deriva de la necesidad de una mayor cantidad de llamadas (capacidad) en el mismo espectro de radiofrecuencia asignado a la telefonía móvil celular. Para esto se introdujeron protocolos de telefonía digital que además de permitir un mayor número de enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, permitieron el ingreso o la integración de otros servicios, que anteriormente eran independientes, en la misma señal y una mayor capacidad de envío de datos desde los dispositivos.

- GSM: Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, Global System for Mobile communications), formalmente conocida como "Group Special Mobile"

---

<sup>10</sup> En telecomunicaciones e informática, el término bit rate o flujo de bits, define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. El bit rate es la velocidad de transferencia de datos. Kbps (Kilobits por segundo) es la medida para mil bits por segundo

<sup>11</sup> El modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, Open System Interconnection). Proporcionó a los fabricantes un conjunto de estándares que aseguran una mayor compatibilidad e interoperabilidad entre los distintos tipos de tecnologías de red producidos por las empresas a nivel mundial.



(GSM, Grupo Especial Móvil) es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales. El estándar fue creado por la CEPT<sup>12</sup> y posteriormente desarrollado por ETSI<sup>13</sup> como un estándar para los sistemas de telefonía móvil celular europeos, con la intención de desarrollar una norma que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo. Es el estándar predominante en Europa, así como en el resto del mundo. GSM emplea Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA, Time Division Multiple Access<sup>14</sup>) entre estaciones en un par de canales de radio de frecuencia duplex, con una baja cantidad de saltos de frecuencia (frequency hopping) entre canales. Tiene cuatro versiones principales basadas en la banda: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900. GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1.8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto de América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900 (1.9 GHz), ya que en EE.UU. las bandas de 900 y 1800 MHz han sido asignadas para usos militares.

- **iDEN**: Integrated Digital Enhanced Network, es una tecnología de comunicación móvil, desarrollada por Motorola, que le da a los usuarios el beneficio de un sistema de radio trunking <sup>15</sup> y de un teléfono celular. iDEN ubica a más usuarios en un determinado espacio del espectro, a diferencia de los sistemas que usan TDMA. Hasta 6 canales de comunicaciones comparten un ancho de banda de 25 KHz, mientras algunas otras tecnologías solo ubican un canal en 12.5 KHz de ancho de banda. En Colombia esta tecnología es utilizada por Avantel.
- **D-AMPS**: El Sistema de Telefonía Móvil Avanzada Digital (D-AMPS, Digital Advanced Mobile Phone System) es un sistema de telefonía celular diseñado

---

<sup>12</sup> La Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT, siglas de su nombre en francés Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) fue un organismo internacional que agrupa a las entidades responsables en la administración pública de cada país europeo de las políticas y la regulación de las comunicaciones, tanto postales como de telecomunicaciones.

<sup>13</sup> European Telecommunications Standards Institute o Instituto de Estándares de Telecomunicación Europeas es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial. Fue creado en 1988 por CEPT.

<sup>14</sup> Tecnología que distribuye las unidades de información en alternantes ranuras o intervalos (slots) de tiempo proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias.

<sup>15</sup> Los Sistemas Radio Trunking son sistemas de radiocomunicaciones móviles para aplicaciones públicas y privadas, que cuentan con la posibilidad de crear grupos y subgrupos de usuarios, con las siguientes características principales: estructura de red celular (independientes de las redes públicas de telefonía móvil); los usuarios comparten los recursos del sistema de forma automática y organizada; cuando se requiere, por el tipo de servicio, es posible el establecimiento de canales prioritarios de emergencia que predominarían sobre el resto de comunicaciones del grupo.



para que fuera compatible con los antiguos sistemas de telefonía analógica AMPS. D-AMPS usa canales de frecuencia de 30 MHz al igual que AMPS, pero divide cada canal en tres intervalos TDMA, por lo cual es simplemente conocido como TDMA. Algunos se refieren a este sistema con ADC (American Digital Cellular), NADC (North American Digital Cellular), USDC (U.S. Digital Cellular) o por el nombre de cualquiera de los estándares que lo reglamentan, como IS-54 y ANSI-136 (IS-136).

- IS-95: Estándar Interino 95 (IS-95, Interim Standard 95) Este es el primer estándar celular digital basado en Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access). El nombre dado a este estándar es cdmaOne. También es conocido como TIA-EIA-95. CDMA es un sistema de radio celular digital que transmite una corriente de bits. Este sistema le permite a varias comunicaciones de radio compartir la misma frecuencia y a diferencia de los sistemas GSM o TDMA todas las comunicaciones de radio pueden estar activas al mismo tiempo, ya que la capacidad del sistema no está directamente limitada por el número de radioenlaces activos. Es así como un gran número de teléfonos pueden ser cubiertos por una pequeña cantidad de celdas.
- PDC: Celular Digital Personal (PDC, Personal Digital Cellular) fue un estándar desarrollado para ser usado exclusivamente en Japón. Al igual que D-AMPS y GSM este estándar también utiliza TDMA. Es implementado en las bandas de los 800 MHz (bajada (downlink) 810-888 MHz, subida (uplink) 893-958 MHz) y en los 1.5 GHz (bajada (downlink) 1477-1501 MHz, subida (uplink) 1429-1453 MHz).
- CSD: Circuit Switched Data, fue la forma original de transmisión de datos desarrollada para los sistemas de telefonía móvil basados en TDMA como GSM. Este sistema utiliza un intervalo de tiempo de transmisión de radio para entregar 9.6 Kbps de datos al subsistema de conmutación y de red de GSM. Las llamadas CSD funcionan de manera similar a las llamadas de voz sobre la red GSM.
- PHS: Personal Handy-phone System, también comercializado como Sistema de Acceso (PAS, Personal Personal Access System), fue una red móvil operando en la banda de frecuencias entre los 1880 – 1930 MHz. Es esencialmente una telefonía inalámbrica con la capacidad de handover desde una celda a otra. Estas celdas son pequeñas, con una potencia de transmisión máxima de 500mW



con radios de cobertura alrededor de unos 10 o máximo 100 metros al contrario de los varios kilómetros que maneja GSM. Es adecuada para áreas con una alta densidad urbana, pero poco práctica para las áreas rurales. Debido al pequeño tamaño de las celdas se hace un poco difícil mantener llamadas cuando el usuario va a una gran velocidad de una celda a otra, como por ejemplo en un vehículo. Esta tecnología fue implementada sobre todo en China, Taiwán, Vietnam y países vecinos.

- e. 2.5G: Este es un escalón entre las tecnologías de telefonía inalámbrica de 2G y 3G. Se le da este nombre a aquellas tecnologías que dominan la conmutación de paquetes en combinación con la conmutación de circuitos. Este término 2.5G no es oficial y solo tiene un significado comercial.
- GPRS: General Packet Radio Service. Proporciona altas velocidades de transferencia de datos (especialmente útil para conectar a Internet) y se utiliza en las redes GSM. GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pasando de la conmutación de circuitos en GSM (donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación aunque no se envíe información en un momento dado) a la conmutación de paquetes. La conmutación de paquetes permite fundamentalmente compartir de manera eficiente los recursos de radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información, todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, pasando de velocidades de 9,6 kbps en GSM a 40 kbit/s en recepción en GRPS y 20 kbit/s de transmisión.
  - HSCSD: High-Speed Circuit-Switched Data. Esta es una mejora de la tecnología CSD, con la diferencia de que HSCSD tiene la habilidad de utilizar diferentes métodos de codificación y múltiples ventanas de tiempo para incrementar el desempeño en la transmisión de datos. Además, una de las innovaciones es la



implementación de varios métodos de corrección de errores que son usados para la transmisión de los datos, utilizados dependiendo de la calidad del enlace de radio. De esta manera la transmisión de datos por intervalo de tiempo aumenta a 14.4 Kbps mejorando hasta en un 50% el alcance de CSD. La otra habilidad de HSCSD es la posibilidad de utilizar varios intervalos de tiempo al mismo tiempo. Usando un máximo de 4 intervalos de tiempo, la transmisión de datos puede llegar a un máximo de 57.6 Kbps (4 veces 14.4 Kbps) y aún en casos críticos, canales ruidosos con una alta necesidad de corrección de errores, se pueden alcanzar velocidades mayores que para CSD, de alrededor de 38.4 Kbps.

- WiDEN: Wideband Integrated Dispatch Enhanced Network. Es una mejora desarrollada por Motorola para el iDEN. Permite que las unidades del suscriptor se puedan comunicar a través de la combinación de 4 canales de 25 KHz, para alcanzar una velocidad de hasta 100 Kbps.

f. 2.75G:

- CDMA2000: Es una familia de estándares en telecomunicaciones móviles que utilizan CDMA, un esquema de acceso múltiple para redes digitales, para enviar voz, datos, y señalización entre teléfonos celulares y estaciones base. Ésta es la segunda generación de la telefonía celular digital CDMA. 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 estandarizado por 3GPP2<sup>16</sup>. CDMA2000 1x, el núcleo de la interfaz inalámbrica del estándar CDMA2000, es conocido por muchos términos: 1x, 1xRTT, IS-2000, CDMA2000 1X, 1X, y cdma2000 (en minúsculas). La designación 1xRTT (1 times Radio Transmission Technology) es usada para identificar la versión de la tecnología CDMA2000 que opera en un par de canales de 1.25-MHz (1.25 MHz una vez, opuesto a 1,25 MHz tres veces en 3xRTT). 1xRTT casi duplica la capacidad de voz sobre las

---

<sup>16</sup> Proyecto de Asociación Tercera Generación 2 (3GPP2, 3rd Generation Partnership Project 2). Trabaja en la evolución del acceso de CDMA2000 y la definición de normas para la prestación de servicios avanzados especialmente con mayores velocidades de comunicación de datos. Además estudian la adopción de tecnologías IP para mejorar el trabajo con todos los servicios en una infraestructura común.



redes IS-95. CDMA2000 3x utiliza un par de canales de 3,75-MHz (por ejemplo 3 X 1,25 MHz) para alcanzar mayores velocidades de datos. La versión 3x de CDMA2000 es algunas veces referidas como multi-portador (MC, Multi-Carrier). La versión 3x de CDMA2000 no ha sido implementada y no está en desarrollo actualmente. CDMA2000 1xEV-DO (1x Evolution-Data Optimized, originalmente 1x Evolution-Data Only), también referido como 1xEV-DO, EV-DO, EVDO, o sólo DO, es una evolución de CDMA2000 1x con una alta velocidad de transmisión de datos (HDR, High Data Rate) y donde el enlace de bajada (forward link) 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 transmisión de datos en el enlace de bajada (forward link) de hasta 3.1 Mbps y una velocidad de datos en el enlace de subida (reverse link) de hasta 1.8 Mbps en un canal de radio dedicado a transportar paquetes de datos de alta velocidad. 1xEV-DO Rev. A. CDMA2000 1xEV-DV (1x Evolution-Data/Voice), soporta una velocidad de datos en el enlace de bajada (forward link) de hasta 3.1 Mbps y una velocidad de datos en el enlace de subida (reverse link) de hasta 1.8 Mbps. 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.

- EDGE: Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM (Enhanced Data rates for GSM Evolution). También conocida como EGPRS (Enhanced GPRS). EDGE se considera una evolución del GPRS. Aunque EDGE funciona con cualquier dispositivo móvil GSM que tenga implementado GPRS, el operador debe implementar las actualizaciones necesarias, además no todos los teléfonos móviles soportan esta tecnología. EDGE, o EGPRS, puede ser usado en cualquier transferencia de datos basada en conmutación por paquetes, como lo es la conexión a Internet. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden ver en las aplicaciones que requieren una mayor velocidad de transmisión de datos, como video y otros servicios multimedia. Además de usar GMSK (Gaussian Minimum-Shift Keying)<sup>17</sup>, EDGE usa 8PSK (8 Phase Shift Keying)<sup>18</sup> para los

---

<sup>17</sup> GMSK Modulación por Desplazamiento Gausiano Mínimo (Gaussian Minimum Shift Keying) es un esquema de modulación binaria simple utilizado en la tecnología GSM.

<sup>18</sup> El método de modulación 8PSK es un método lineal en el cual tres bits consecutivos se relacionan con un símbolo. La velocidad de símbolo, o el número de símbolos enviados en un cierto período de tiempo, es la





cinco niveles superiores de nueve esquemas totales de modulación y codificación. Esto produce una palabra de 3 bits por cada cambio en la fase de la portadora. Con esto se triplica el ancho de banda disponible que brinda GSM. (En EDGE se puede lograr en cada intervalo de tiempo velocidades de hasta 48 Kbps, si se utiliza los 8 intervalos de tiempo de la portadora se pueden lograr hasta 384 Kbps que es el máximo teórico definido por esta tecnología) Al igual que GPRS, EDGE usa un algoritmo de adaptación de velocidades de transmisión de datos, que adapta el esquema de modulación y codificación usado dependiendo de la calidad del canal de radio. EDGE agrega una nueva tecnología que no se encuentra en GRPS, la Redundancia Incremental, la cual, en vez de retransmitir los paquetes de información alterados, envía más información redundante que se combina en el receptor, lo cual incrementa la probabilidad de decodificación correcta.

- g. 3G: Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad para transferir tanto voz y datos (una llamada telefónica) y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de correo electrónico, acceso a Internet, comercio móvil, y mensajería instantánea entre otros).
- W-CDMA: Acceso múltiple de banda ancha por división de código (Wideband-Code Division Multiple Access). Constituye una tecnología móvil inalámbrica que aumenta las velocidades de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y por ello ofrece velocidades de datos mucho más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles que las que se suelen ofrecer en el mercado actual.
  - TD-SCDMA: Tecnología CDMA síncrona por división en el tiempo. Desarrollada por la academia China de tecnologías de telecomunicaciones en colaboración con Siemens, y aprobada por la ITU. Transmite el tráfico ascendente y descendente sobre diferentes ranuras de tiempo de la misma trama y en la misma frecuencia o portadora. El espectro ascendente y el descendente se

---

misma que para GMSK, pero cada símbolo representa tres bits en lugar de uno. Por lo tanto, la velocidad de datos total queda multiplicada por un factor de tres.





asignan de forma flexible dependiendo del tipo de información a transmitir, hasta 2Mbps. Esta tecnología requiere de un alto grado de sincronismo y por ello ha sido implementada en pico-celdas.

h. 3.5G:

- HSDPA: High Speed Downlink Packet Access. Es la optimización de UMTS/WCDMA y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar velocidades de transmisión de hasta 14 Mbps de manera teórica. En la práctica se han alcanzado velocidades alrededor de los 3 Mbps.

i. 3.75G:

- HSUPA: High-Speed Uplink Packet Esta tecnología ofrece una mejora sustancial en la velocidad de transmisión de datos en el enlace de subida, desde el terminal hacia la red.

## 1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Las ondas electromagnéticas se propagan o viajan por el espacio libre (incluido el vacío). El número de oscilaciones por segundo de una onda electromagnética se llama frecuencia (representada por  $f$ ) y se mide en Hz. La distancia entre dos máximos consecutivos recibe el nombre de longitud de onda (Representada por  $\lambda$ ).

Añadiendo una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser emitidas eficientemente y recibidas por un receptor a una distancia determinada. Todas las comunicaciones inalámbricas se basan en este principio.

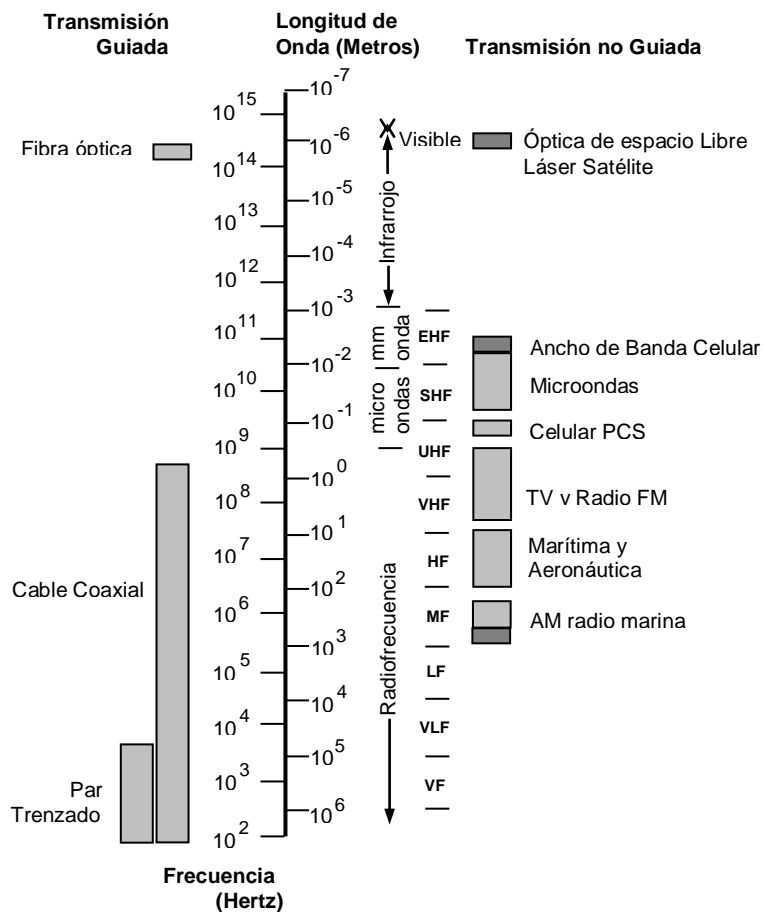


En el vacío, todas las ondas electromagnéticas van a la misma velocidad de propagación, a la velocidad de la luz (representada por  $c$ ), que es aproximadamente  $3 * 10^8$  m/s. En cobre o fibra óptica la velocidad de propagación es  $2/3$  de la velocidad de la luz y depende altamente de la frecuencia. La relación de  $f$ ,  $\lambda$  y  $c$  en el vacío es:

$$\lambda * f = c \quad (1)$$

Las radiomicroondas, infrarrojos y porciones de luz visibles del espectro pueden usarse para transmitir información modulando en amplitud (AM, Amplitude Modulation), frecuencia (FM, Frequency Modulation) o fase (PM, Phase Modulation). La luz ultravioleta, los rayos X y Gamma, podrían ser mejores debido a su alta frecuencia pero son difíciles de producir y modular, no se propagan bien entre edificios y son peligrosos para los seres vivos. En la figura 6 se pueden observar estos conceptos debido a que aparecen los nombres oficiales de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, ITU, International Telecommunications Union).

La información que una onda electromagnética puede llevar va en función de su ancho de banda y también de la eficiencia de la modulación utilizada. Con la tecnología actual es posible codificar pocos bits por Hertz a baja frecuencia, pero puede elevarse bajo ciertas condiciones y a altas frecuencias.



**Figura 6. Espectro electromagnético**

Para prevenir el caos total, hay acuerdos nacionales e internacionales sobre quién puede usar qué frecuencias. El espectro es disputado por radio FM, AM, televisión, teléfonos celulares, compañías de teléfonos, policía, navegación, militares, gobiernos entre otros.

La vigilancia del cumplimiento de estos acuerdos lo realiza en Estados Unidos (EEUU) la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission), a nivel mundial, la agencia de ITU-R (WARC) y en Colombia el Ministerio de Comunicaciones.



En la siguiente tabla (Tabla 1) se pueden ver los detalles de las bandas de radiofrecuencia.

Nombre	Abreviatura	Banda (ITU)	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 Km
Extra Baja frecuencia Extremely Low Frequency	ELF	1	3 – 30 Hz	100.000 – 10.000 Km
Super Baja frecuencia Super Low Frequency	SLF	2	30 – 300 Hz	10.000 – 1000 Km
Ultra Baja Frecuencia Ultra Low Frequency	ULF	3	300 – 3000 Hz	1000 – 100 Km
Muy Baja Frecuencia Very Low Frequency	VLF	4	3 – 30 KHz	100 – 10 Km
Baja Frecuencia Low Frequency	LF	5	30 – 300 KHz	10 - 1 Km
Media Frecuencia Media Frequency	MF	6	300 – 3000 KHz	1 Km – 100 m
Alta Frecuencia High Frequency	HF	7	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Muy Alta Frecuencia Very High Frequency	VHF	8	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra Alta Frecuencia Ultra High Frequency	UHF	9	300 – 3000 MHz	1 m – 100 mm
Super Alta Frecuencia Super High Frequency	SHF	10	3 – 30 GHz	100 – 10 mm
Extra Alta Frecuencia Extremely High Frequency	EHF	11	30 – 300 GHz	10 – 1 mm
			Sobre 300 GHz	< 1 mm

**Tabla 1. Bandas de radiofrecuencia**

Se debe tener en cuenta que por encima de 300 GHz, la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a frecuencias más altas de radiación electromagnética, hasta que vuelve de nuevo a ser transparente en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF se superponen al espectro de AF (audio frecuencia), que se encuentra entre 20 y 20000 Hz.



### 1.3 MODELOS DE PROPAGACION

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos utilizados para representar las características de una señal de radio de un ambiente dado. Generalmente los modelos de propagación se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Los modelos de propagación predicen la atenuación que sufre una señal de RF<sup>19</sup> por trayectoria pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo. La ventaja de modelar radio canales teniendo en cuenta las características de propagación entre transmisor y receptor, es conocer la viabilidad de los proyectos en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos (especificaciones técnicas).

El desempeño de los modelos de propagación se mide por la veracidad de los resultados en comparación con medidas de campo reales. Algunos modelos tienen una buena correlación en cuanto a las comparaciones mencionadas tanto a nivel de simulación como en mediciones de campo. La aplicabilidad de un modelo depende de las especificaciones que este mismo requiera tal como son: el tipo de terreno (montañoso, ondulado o casi liso), las características del ambiente de propagación (área urbana, suburbana, abierta), características de la atmósfera (índice de refracción, intensidad de las lluvias), propiedades eléctricas del suelo (conductividad terrestre), tipo del material de las construcciones urbanas etc.

---

<sup>19</sup> RF: Contracción utilizada para la palabra Radio Frecuencia.



Además, los ambientes o entornos donde estos sistemas son instalados, van desde pequeñas áreas ubicadas en construcciones, edificios o cualquier área bajo techo, hasta extensas áreas rurales. Por lo tanto los modelos de propagación de ondas electromagnéticas son necesarios para definir claramente el tamaño de las celdas (macro, micro y pico-celdas<sup>20</sup>) teniendo en cuenta los escenarios dentro de las edificaciones y ambientes especiales como túneles o vías de una gran extensión.

La propagación de las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia está influenciada generalmente por cuatro fenómenos físicos básicos: reflexión<sup>21</sup>, difracción<sup>22</sup>, penetración<sup>23</sup> y dispersión<sup>24</sup>.

Para que los modelos de propagación se utilicen de manera práctica en ambientes reales, estas características deben ser descritas por aproximaciones..

En un primer paso el área física de estudio debe ser digitalizada para poder obtener así datos que describan dicha área de forma adecuada. En el caso de las macro celdas los datos deben incluir información sobre la altura del terreno y el tipo de suelo, así como la forma de las construcciones existentes, etc. Generalmente diferentes tipos de datos con distinta resolución y veracidad en sus datos contenidos son utilizadas de acuerdo al escenario específico. Las investigaciones han apuntado en la búsqueda de técnicas efectivas que consideren la información relevante de manera adecuada y en una cantidad de tiempo razonable con alta eficiencia. Por este motivo en muchas ocasiones se tienen en cuenta las descripciones de las áreas en formatos sencillos para facilitar los cálculos.

El segundo paso incluye la definición de aproximaciones matemáticas para los métodos de propagación radioeléctrica. Algunos problemas básicos son por ejemplo la difracción alrededor de superficies con esquinas conductoras no perfectas, como por ejemplo la

---

<sup>20</sup> Ver tabla 2.

<sup>21</sup> Reflexión: Una onda se refleja (rebota al medio del cual proviene) cuando se topa con un obstáculo que no puede traspasar ni rodear.

<sup>22</sup> Difracción: En física, la difracción es un fenómeno característico de las ondas que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo.

<sup>23</sup> Penetración: La capacidad de la onda de atravesar el obstáculo.

<sup>24</sup> Dispersión: En física, dispersión es el fenómeno por el cual un conjunto de partículas que se mueve en una dirección determinada rebota sucesivamente con las partículas del medio por el que se mueve hasta perder una dirección privilegiada de movimiento.



esquina de una edificación y el proceso de modelamiento de la propagación sobre los tejados.

Basado en la solución de problemas básicos se han realizado acercamientos empíricos y determinísticos, no probabilísticos, los cuales han sido desarrollados e implementados para varios escenarios como tercer paso.

En los diferentes escenarios son requeridos tanto los distintos modelos de propagación para los fenómenos de propagación radioeléctrica así como las especificaciones de las bases de datos que son usadas para describir los escenarios considerados. Todos estos modelos dedicados para los mismos tipos de escenarios y los tipos de celdas deben ser tratados de manera separada. Las definiciones de los tipos de celdas se explican detalladamente en la tabla 2.

TIPO DE CELDA	RADIO TIPICO DE LA CELDA	POSICION TIPICA DE LA ANTENA EN LAS ESTACIONES BASE
Macro-celdas (Celdas extensas, rural)	1 Km a 30 Km	Externo, la antena está ubicada sobre la altura media de los techos, todas las construcciones alrededor están por debajo de la altura de la antena en la estación base.
Mini-celdas (Celdas pequeñas, suburbanas)	0.5 Km a 3 Km	Externo, la antena está ubicada sobre la altura media de los techos, algunas de las construcciones alrededor están por debajo de la altura de la antena en la estación base.
Micro-celdas (Celdas pequeñas, urbanas)	100 m a 1 Km	Externo, la antena es montada por debajo de la altura media de los techos, algunas de las construcciones alrededor están por debajo de la altura de la antena en la estación base.
Pico-celdas (internas)	Por debajo de 100 m	Interno y externo. La antena es montada por debajo de la altura media de los techos.

**Tabla 2. Definición de diferentes tipos de celdas**

En las macro y mini-celdas la antena en la estación base se encuentra instalada generalmente sobre la altura media de los techos de las construcciones que están



alrededor. Por consiguiente las pérdidas de trayectoria son determinadas principalmente por difracciones en los techos. Los rayos principales son propagados sobre las construcciones. Esta situación cambia para las micro-celdas dado que la antena de la estación base se encuentra por debajo de la altura media de los techos de las construcciones que se encuentran alrededor. En este caso la propagación de las ondas de radio es determinada por la difracción circundante y la reflexión en las construcciones las cuales son dirigidas por un efecto de guía de onda producido por las calles. Las pico-celdas son implementadas para proveer cobertura dentro de edificaciones o para cubrir muy pequeñas áreas en ambientes externos. De cualquier forma, la antena de la estación base de una pico-celda es instalada al interior de una edificación o por debajo del nivel de los techos en exteriores.

El diseño e implementación de sistemas de comunicación personal requiere la predicción de la propagación de las ondas electromagnéticas relacionando los cálculos de relación señal a ruido (SNR, Signal Noise Ratio) y la relación señal a interferencia (CIR, Carrier Interferente Ratio) en los sistemas celulares. La configuración de pequeñas redes de celdas, especialmente micro y pico-celdas, son las de mayor interés para ambientes urbanos debido a que éstas incrementan la capacidad según la demanda. Los criterios utilizados comúnmente para la definición de una micro-celda están relacionados a la altura de la antena en la estación base. Una micro celda típica tiene la antena de la estación base por debajo de la altura media de los techos de las construcciones alrededor o aproximadamente a la misma altura. De esta forma el radio resultante de la celda está en el rango de 250 y 500 m. Una característica favorable es la baja potencia de transmisión. Sin embargo, la predicción estimada está por encima de varios kilómetros para los cálculos de interferencia celular. La estación base de una pico-celda está usualmente instalada en el interior de un edificio proporcionando también cobertura en el exterior alrededor del mismo.

La transmisión de ondas de radio en ambientes urbanos está sujeta al fenómeno de multi-trayectoria. Las características dominantes en estos escenarios son la reflexión, difracción, sombras ocasionadas por obstáculos discretos y el efecto de guía de onda debido a la forma de las calles. La consideración de estos conceptos en el modelo de propagación, es necesaria para conocer todos los trayectos de propagación dominantes.





Estas trayectorias dependen principalmente de la altura de la antena en la estación base con respecto a la altura de las construcciones circundantes.

### 1.3.1 Modelo Hata-Okumura

El modelo Hata-Okumura fue descrito por Yoshihisa Okumura en 1968 en la publicación "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service". En 1980, Masaharu Hata simplificó las consideraciones realizadas por Okumura en la publicación "Empirical formula for propagation loss in Land Mobile Radio Services". Estas simplificaciones realizan restricciones cuando la distancia al transmisor es menor a 20 Km.

El modelo Hata-Okumura es un simple acercamiento empírico para la predicción en áreas macro-celulares y es basado en medidas de intensidad a frecuencias entre 200 MHz y 2 GHz con polarización vertical. Las ecuaciones derivadas de los datos de estas medidas requieren solo de cuatro parámetros y por consiguiente este modelo se caracteriza por un muy corto tiempo de cálculo de pérdidas de propagación:

- Frecuencia  $f$
- Distancia entre el transmisor y el receptor  $d$
- Altura de la antena transmisora  $h_t$
- Altura de la antena receptora  $h_r$

Con el fin de mejorar la exactitud del modelo empírico se utiliza una altura efectiva  $h_{eff}$  para la antena transmisora. El perfil del terreno entre el transmisor y el receptor no es tenido en cuenta.



Figura 7. Definición de altura efectiva de la antena.

Los datos del modelo de Hata-Okumura pueden variar solo entre un rango de medidas para cada uno de sus parámetros:

- $f = 150 - 1500$  MHz
- $d = 1 - 20$  Km
- $h_t = 30 - 200$  m
- $h_r = 1 - 10$  m

Las pérdidas básicas de propagación en áreas urbanas son calculadas teniendo en cuenta las fórmulas que se describen a continuación. Estas ecuaciones utilizan diferentes factores de corrección dependiendo al ambiente específico de propagación que se está analizando (urbanos, suburbanos y abiertos).

$$L = 69.55 + 26.16 \log f [MHz] - 13.82 \log h_{eff} [m] - c(h_r) [dB] + (44.9 - \log h_{eff} [m]) \log d [Km] \quad (2)$$

Donde:

$$c(h_r) = (1.1 \log f [MHz] - 0.7) h_r - (1.56 \log f [MHz] - 0.8) \quad \text{Para áreas suburbanas} \quad (3)$$

$$c(h_r) = 8.29 [\log(1.54 h_r [m])]^2 - 1.1 \quad \text{Áreas urbanas (f < 200 MHz)} \quad (4)$$



$$c(h_r) = 3.2[\log(11.75h_r[m])]^2 - 4.97 \quad \text{Áreas urbanas (f < 400 MHz)} \quad (5)$$

Como complemento a las fórmulas para los casos en zonas urbanas se hacen algunas modificaciones para áreas rurales y áreas abiertas. Estas modificaciones llevan a las siguientes ecuaciones:

$$L_{rural} = L[dB] - 2[\log(f / 28[MHz])]^2 - 5.4 \quad (6)$$

$$L_{abierta} = L[dB] - 4.78(\log f[MHz])^2 + 18.33\log f[MHz] - 40.94 \quad (7)$$

Estas fórmulas describen la propagación de las ondas de manera bastante sencilla debido a que el perfil del terreno entre el transmisor y el receptor no es tenido en cuenta. Por ejemplo, si existiera una colina en medio del transmisor y el receptor no afectaría los resultados obtenidos. Además no son tenidos en cuenta los efectos como las reflexiones y las sombras que aparecen alrededor del receptor.

El COST 231 ha extendido el modelo Hata-Okumura para la banda de frecuencias entre 1500 MHz y 2000 MHz derivado del análisis de las curvas de propagación en la parte superior de la banda de frecuencia. Esta combinación es llamada "Modelo COST-Hata".

$$L = 46.3 + 33.9\log f[MHz] - 13.82\log h_{eff}[m] - c(h_r)[dB] + (44.9 - 6.55\log h_{eff}[m])\log d[Km] + C_m[dB] \quad (8)$$

Donde:

$$c(h_r) = (1.1\log f[MHz] - 0.7)h_r[m] - (1.56\log f[MHz] - 0.8) \quad (9)$$

y:



$C_m = 0$  dB para ciudades medianas y centros suburbanos

$C_m = 3$  dB para centros metropolitanos

La aplicación del modelo COST-Hata es restringido para macro-celdas. Las fórmulas de Hata y sus modificaciones no deben ser usadas en micro-celdas.

### **1.3.2 Modelo COST-Walfisch-Ikegami**

Los llamados modelos empíricos (por ejemplo el modelo de Walfisch-Ikegami) consideran la propagación solo en el plano vertical incluyendo el transmisor y el receptor. Para la predicción de campo los parámetros significativos tienen que ser extraídos de la sección vertical. (Por ejemplo la altura media de las construcciones).

Finalmente las ecuaciones que contienen estos parámetros tienen que ser optimizadas y adaptadas a numerosas medidas con el fin de obtener un modelo de predicción el cual sea aplicable en diferentes ambientes de propagación. La principal ventaja de los modelos empíricos es el corto tiempo de cálculo.

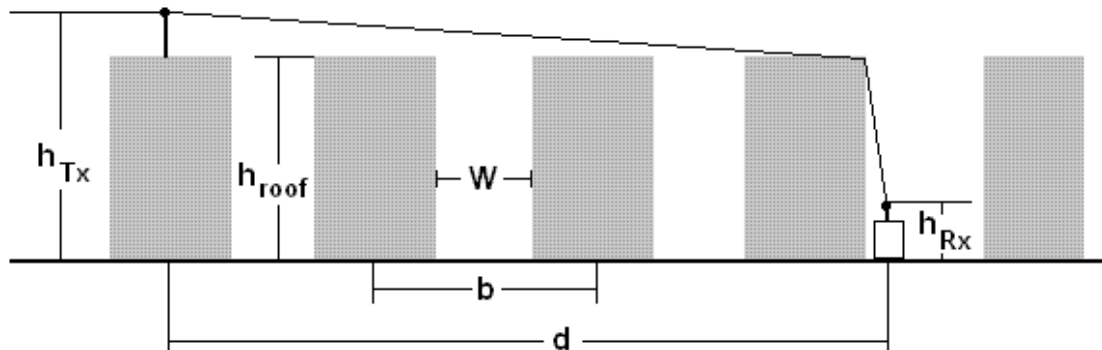
Sin embargo, la exactitud de las predicciones es limitada debido a que solo un pequeño número de parámetros son tenidos en cuenta y la influencia de la distancia desde el transmisor es muy marcada. Adicionalmente, el efecto de guía de onda en las calles no puede ser considerado como una aproximación empírica.

Este modelo empírico fue desarrollado en el proyecto Europeo COST 231 por una combinación de los modelos de Walfisch e Ikegami. El modelo permite mejorar la estimación de las pérdidas de trayectoria por la estimación de una mayor cantidad de datos que describen el ambiente urbano, tales como:



- altura del transmisor  $h_{tx}$
- altura del receptor  $h_{rx}$
- altura media de las construcciones  $h_{roof}$
- valor medio del ancho de las calles  $w$
- valor medio de separación de las construcciones  $b$
- la orientación de la calle con respecto a la trayectoria de radio directo  $\varphi$

La figura 8 muestra los parámetros geométricos para el cálculo con el modelo COST 231. Sin embargo este modelo es todavía estadístico y no determinístico. El modelo distingue entre situaciones de línea de vista (LOS, Line of Sight) y aquellas donde ésta no existe (NLOS, Non Line of Sight). En los casos en que existe línea de vista - entre la estación base y la antena móvil dentro de la calle - se usa una fórmula sencilla de pérdidas de propagación que es diferente a la aplicada para las pérdidas en espacio libre. La adecuación de está fórmula se lleva a cabo con la ayuda de medidas tomadas en ciudades europeas (Fórmula 10).



**Figura 8. Situación de propagación típica en áreas urbanas y definición de los parámetros usados en el modelo COST Walfisch-Ikegami.**

Caso LOS:

$$l_p = 42.6 + 26 \log d [Km] + 20 \log f [MHz] \quad (10)$$

Donde la primera constante es definida de manera que  $l_p$  es igual a las pérdidas de espacio libre para una distancia  $d = 20m$ . En los casos donde no hay línea de vista las



pérdidas básicas de propagación están definidas en términos de las pérdidas de espacio libre  $l_o$ , pérdidas de difracción de superficie múltiple  $l_{msd}$ , y pérdidas de difracción entre el tejado y la calle  $l_{rts}$ :

Caso NLOS:

$$l_p = \begin{cases} l_o + l_{rts} + l_{msd} \\ l_o \end{cases} \quad \begin{cases} l_{rts} + l_{msd} > 0 \\ l_{rts} + l_{msd} \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Las pérdidas de espacio libre están dadas por:

$$l_o = 32.44 + 20 \log f [\text{MHz}] + 20 \log d [\text{Km}] \quad (12)$$

El término  $l_{rts}$  describe el acoplamiento de la propagación de la onda de radio a lo largo de la trayectoria de pantalla múltiple dentro de la calle donde la estación móvil está localizada. La determinación de  $l_{rts}$  está basada principalmente en el modelo de Ikegami. Éste tiene en cuenta el ancho de la calle y su orientación. El COST 231, sin embargo, le ha aplicado otra función a la orientación de la calle en comparación con Ikegami:

$$l_{rts} = -16.9 - 10 \log w [m] + 10 \log f [\text{MHz}] + 20 \log ((h_{roof} - h_{Rx}) [m]) + l_{Ori} \quad (13)$$

La pérdida de orientación  $l_{Ori}$  es un factor de corrección empírico obtenido de las medidas:

$$l_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi [\text{deg}] & \text{para } 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi [\text{deg}] - 35) & \text{para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi [\text{deg}] - 35) & \text{para } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (14)$$

La formulación electromagnética escalar de difracción multi-pantalla es una integral por lo cual Walfisch y Bertoni publicaron una solución aproximada en el caso en el que las antenas de la estación base estén localizadas sobre el techo. Este modelo se aplica adicionalmente para el COST 231 en el caso que la altura de la antena de la estación base se encuentra por debajo del nivel de los techos, usando una función empírica



basada en medidas. Las alturas de las construcciones y sus separaciones espaciales a lo largo de la trayectoria del rayo directo son modeladas por superficies absorbentes para la determinación de  $l_{msd}$ :

$$l_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \lg d [Km] + k_f \lg f [MHz] - 91 \lg b [m] \quad (15)$$

Donde:

$$l_{bsh} = \begin{cases} -18(1 + (h_{Tx} - h_{roof}) [m]) & h_{Tx} > h_{roof} \\ 0 & h_{Tx} < h_{roof} \end{cases} \quad (16)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{Tx} > h_{roof} \\ 54 - 0.8(h_{Tx} - h_{roof}) [m] & d \geq 0.5 km \text{ y } h_{Tx} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8(h_{Tx} - h_{roof}) [m] \frac{d [Km]}{0.5} & d < 0.5 km \text{ y } h_{Tx} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (17)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_{Tx} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{h_{Tx} - h_{roof}}{h_{roof} - h_{Rx}} & h_{Tx} \leq h_{roof} \end{cases} \quad (18)$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left( \frac{f [MHz]}{925} - 1 \right) \\ 1.5 \left( \frac{f [MHz]}{925} - 1 \right) \end{cases} \quad (19)$$

Donde la primera opción de  $k_f$  es para ciudades pequeñas y la segunda opción es para grandes centros urbanos.

El término  $K_a$  representa el incremento en las pérdidas de trayectoria para las antenas de la estación base por debajo de los techos de las construcciones adyacentes. Los términos  $K_d$  y  $K_f$  controlan las diferencias en las pérdidas de difracción multi-superficie comparadas con la distancia y la frecuencia de radio, respectivamente.



El modelo COST-Walfisch-Ikegami es válido para los siguientes rangos:

- $f = 800 - 2000$  MHz
- $d = 20 - 5000$  m
- $h_{Tx} = 4 - 50$  m
- $h_{Rx} = 1 - 3$  m

El modelo también ha sido aceptado por la ITU-R y está incluido en el reporte 567-4. La estimación de las pérdidas de trayectoria coincide con las medidas para la altura de la antena de la estación base sobre el nivel del techo. El error está en el rango de 3 dB y la desviación estándar entre 4-8 dB. Sin embargo el error de predicción se vuelve más grande para  $h_{Tx}$  cerca de  $h_{roof}$  comparado a situaciones en que  $h_{Tx} \gg h_{roof}$ . Adicionalmente el desempeño de este modelo es pobre para  $h_{Tx} \ll h_{roof}$ . Los parámetros  $b$ ,  $w$ , y  $\varphi$ , no son considerados físicamente significativos en micro-celdas. Por consiguiente, el error de predicción para micro-celdas puede ser bastante grande. El modelo no considera la propagación multi-trayectoria y el efecto de guía de onda en las calles. En las situaciones donde la propagación sobre los techos es dominante el modelo arroja buenos resultados.

#### 1.4 SIG - SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Cerca del 80% de la información tratada por instituciones y empresas públicas o privadas tienen en alguna medida relación con datos espaciales, lo que demuestra que la toma de decisiones depende en gran parte de la calidad, exactitud y actualidad de esta información espacial.

Los Sistemas de Información Geográfica SIG (en inglés GIS, Geographic Information System) se han constituido durante los últimos veinte años en una de las más importantes herramientas de trabajo para investigadores, analistas y planificadores, en todas las actividades que tienen como insumo el manejo de la información (Bases de Datos) relacionada con diversos niveles de agregación espacial o territorial. Aunque los SIG tienen gran capacidad de análisis, estos no pueden existir por si mismos, deben tener una organización, personal y equipo responsable para su implementación y sostenimiento,





adicionalmente este debe cumplir un objetivo y deben estar garantizados los recursos para su mantenimiento.

#### **1.4.1 Definición**

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar de forma coordinada y lógica para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas.

#### **1.4.2 Funciones**

Los principales temas que debe manejar un Sistema de Información Geográfica son:

- Localización: Preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: Detección de pautas espaciales.
- Modelos: Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Los SIG por ser tan versátiles cuentan con un campo de aplicación muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda

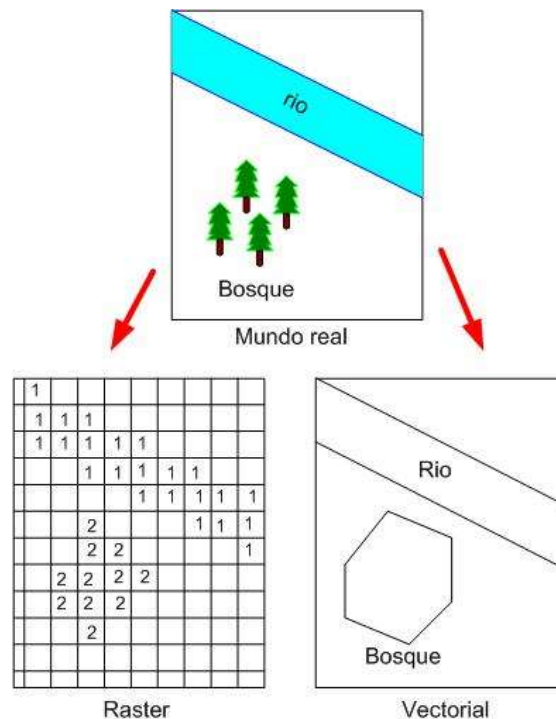


revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

### 1.4.3 Funcionamiento

Los software SIG pueden ser raster o vectoriales. El modelo de SIG raster se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuanto mayor sea la dimensión de la celda (resolución) menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico. En el caso del modelo de SIG vectorial, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

Los SIG vectoriales son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios medioambientales donde la precisión espacial no es muy requerida (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.)



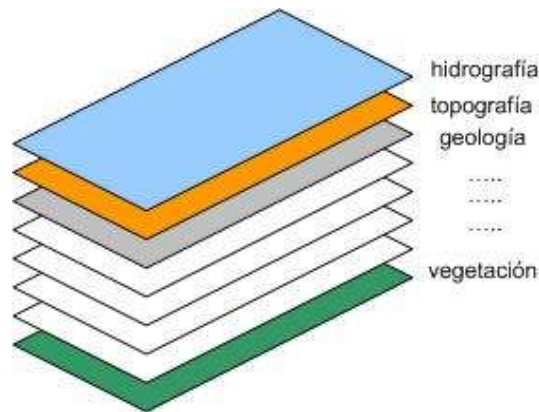


**Figura 9. Diferenciación entre los términos raster y vectorial.**

#### **1.4.4 Componentes de un SIG**

Un Sistema de Información Geográfica o SIG está compuesto por:

- a. Hardware: Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red; se requiere de hardware específico para cumplir con las necesidades de la aplicación.
- b. Software: Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y visualizar información geográfica; los componentes principales del software SIG son:
  - Un sistema de manejo de base de datos: La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de abstracción para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada que pueda ser fácilmente manejada por los computadores actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en capas (Figura 10); en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir.
  - Una interfaz gráfica de usuario (IGU, GUI, Graphical User Interface) para el fácil acceso a las herramientas.
  - Herramientas para captura y manejo de información geográfica.
  - Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.



**Figura 10. Manejo de capas para las bases de datos.**

La captura de gran cantidad de información cartográfica utiliza sistemas automatizados de digitalización como los dispositivos de exploración. Estos minimizan el trabajo manual y aseguran resultados coherentes y repetibles cada vez que se examina un mapa. Aunque la exploración es más rápida que la digitalización, solo pueden someterse a ese proceso los mapas de buena calidad e incluso así, el resultado del producto no es por lo general tan satisfactorio. Además, una vez digitalizado un mapa puede reproducirse y transformarse a voluntad o de acuerdo a las necesidades establecidas por el usuario.

- c. Información: El componente más importante para un SIG es la información. Se requiere de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma mas acertada posible.

La consecución de buenos datos generalmente absorbe entre un 60% y un 80 % del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad. La información producida solo tiene el valor de los datos introducidos previamente. Una información incorrecta o insuficiente introducida en el SIG produciría respuestas incorrectas o insuficientes, por muy perfeccionada o adaptada al usuario que pueda ser la tecnología. Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos.



- d. Personal: Las tecnologías SIG son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desactualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipulan en todo su potencial. Cuando se define un SIG se tiende a limitar a equipos y programas como el sistema completo, relegando tal vez el elemento más primordial: El talento humano que hace funcionar eficazmente todo el sistema.
  
- e. Métodos: Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y prácticas operativas exclusivas de cada grupo de trabajo que vaya a manejar o interactuar con el SIG. La recolección de información y la introducción de la misma en el sistema, requiere de una gran calidad de diseño y trabajo, una capacitación intensiva y un control frecuente para vigilar la calidad. En otras palabras, además de contar con equipos y programas adecuados para realizar el trabajo, la utilización eficaz del SIG requiere contar con personal suficientemente capacitado, así como con servicios de planificación, organización y supervisión, que permitan mantener la calidad de los datos y la integridad de los productos finales.

## 1.5 ARCVIEW

ArcView es una herramienta desarrollada por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (Environmental Systems Research Institute, ESRI), como sistema de información geográfico, SIG, el cual funciona en una amplia variedad de sistemas informáticos o plataformas sin cambiar sus características y funcionalidades. Con ella se pueden representar datos georreferenciados, analizar las características y patrones de distribución de esos datos y generar informes con los resultados de dichos análisis. Esta es la herramienta SIG mas extendida en todo el mundo gracias a sus avanzadas capacidades de visualización, consulta y análisis de información geográfica, además de las numerosas herramientas de integración de datos desde todo tipo de fuentes y herramientas de edición.



Arcview está diseñado de forma modular, permitiendo añadir, según las necesidades de análisis, extensiones<sup>25</sup> que van aumentando las capacidades del SIG, ofreciendo optimización de los recursos. La funcionalidad de ArcView está distribuida entre tres aplicaciones que lo constituyen (ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox) y es el uso combinado de las tres aplicaciones lo que permite realizar, de manera muy intuitiva, tareas que van desde consultas hasta complejos análisis, incluyendo la gestión y edición de los datos, así como funciones de geoprocésamiento.

En particular ArcView permite realizar las siguientes funciones:

- Explorar y administrar la información geográfica y alfanumérica en múltiples formatos.
- Visualizar y consultar la información geográfica y alfanumérica.
- Crear y mantener los metadatos de la información catalogada.
- Crear el modelo de datos apropiado a las necesidades de cada usuario.
- Acceder de manera inmediata a servicios de Internet a través del servidor de aplicaciones ArcIMS.
- Realizar todo tipo de edición gráfica y alfanumérica gracias a su potente y avanzado entorno de edición.
- Realizar tareas de análisis avanzado tanto de los datos geográficos como los alfanuméricos.
- Producir cartografía de muy alta calidad.
- Permitir una personalización rápida y sencilla del entorno de trabajo.
- Acceder a funciones de geoprocésamiento mediante distintos entornos (ModelBuilder, Cuadros de diálogo, Línea de comandos y Entorno de scripts).
- Gestionar las propiedades de etiquetado de un mapa desde un entorno centralizado.

Arcview provee diferentes medios para comunicarse con otras aplicaciones, soporta tres tipos de interacción cliente/servidor y puede tomar el papel de cliente o de servidor trabajando sobre las plataformas (UNIX, WINDOWS)

---

<sup>25</sup> Las extensiones son programas complementarios que proporcionan funciones especializadas de SIG.



## 1.6 AVENUE

Avenue es un lenguaje de programación de scripts orientado a objetos utilizado para realizar desarrollos sobre las aplicaciones de ArcView o acondicionar las existentes a las necesidades del usuario. Arcview está compuesto de una gran cantidad de scripts <sup>26</sup> en Avenue, los cuales están a disposición del usuario para que puedan ser editados a la medida de manera sencilla.

Así, Avenue permite personalizar el entorno gráfico de Arcview, quitando o añadiendo menús y botones, modificando las herramientas estándar, creando nuevas herramientas que respondan a las necesidades del momento e integrar a Arcview con otros programas.

Con Avenue, se puede modificar una parte o todo el ambiente para requisitos particulares de Arcview GIS, y así resolver las necesidades de los usuarios. Por ejemplo, se puede agregar una herramienta nueva al interfaz de software de Arcview GIS para que realice una función específica, o se puede crear una aplicación completa basada en Arcview GIS. Permite:

- Adaptar la manera de visualización de Arcview
- Modificar las herramientas estándares de Arcview
- Crear nuevas herramientas
- Integrar Arcview con otras aplicaciones
- Desarrollar y personalizar aplicaciones usando los potenciales de Arcview

El énfasis en Avenue, como en todos los lenguajes orientados a objetos, está en identificar objetos y después enviarles peticiones. En Avenue, en vez de llamar funciones explícitamente con argumentos, se envía una petición a un objeto. Cuando un objeto recibe esta petición realiza una cierta acción.

---

<sup>26</sup> Los lenguajes interpretados (o lenguajes de script) forman un subconjunto de los lenguajes de programación, que incluye a aquellos lenguajes cuyos programas son habitualmente ejecutados en un intérprete en vez de ser compilados. Sin embargo, la definición de un lenguaje de programación es independiente de cómo se ejecuten los programas en él escritos, ya sea mediante una compilación previa o a través de un intérprete



Los objetos de Arcview son los miembros de una jerarquía de clases que se ordenan en las categorías funcionales relacionadas con todos los aspectos de la aplicación. Se utilizan las declaraciones (statements) para ordenar y para estructurar cuando y cómo se hacen las peticiones.

La programación en Avenue consiste en escribir peticiones de objeto más que llamar funciones. Enviando una petición a un objeto, se activa un método apropiado a la clase de la cual el objeto es una instancia. Un objeto en Avenue responde siempre a una petición devolviendo un objeto; en algunos casos, la petición crea un nuevo objeto y en otros casos, la petición original devuelve un objeto ya existente.

En Avenue, se mantiene y controla el estado del sistema en los objetos que han sido instanciados. Un objeto es una entidad que representa algo con lo que se trabaja en Arcview. Los objetos son elementos de la interfaz como controles y ventanas de documento o pueden ser componentes del proyecto como vistas o layouts, o pueden ser elementos básicos de Avenue como números, fechas, booleanos, y cadenas, o pueden ser primitivos gráficos como puntos, líneas o polígonos.

Cada clase en la jerarquía de clases de Arcview define las características comunes a todos los objetos que sean instancias de esa clase. Por ejemplo, la clase doc. tiene 6 subclases: chart, layout, proyect, script, vector y vista. Cada una de estas subclases hereda todas las características de doc. y después incluye atributos y peticiones adicionales.

Avenue puede tener acceso para manipular todos los objetos que forman Arcview. Se pueden escribir scripts que desempeñen exactamente esas tareas requeridas por la aplicación. A través de las cajas de dialogo Customize y Customize Types se puede modificar la interfaz de usuario para reflejar sus requerimientos especiales incluso, reorganizar la interfaz para eliminar controles que no se necesiten en la aplicación específica.





## 1.7 PROYECTOS Y EXTENSIONES

Se puede crear una aplicación ya sea como archivo de proyecto o como una extensión.

Un archivo de proyecto contiene todos los documentos, scripts y objetos del documento de interfaz de usuario que el cliente necesite. Los usuarios trabajan con un proyecto guardando y recuperando la información a través de un archivo de proyecto.

Una extensión agrega funcionalidad o datos a un proyecto ya existente, se puede usar una extensión para mandar un botón a la interfaz de usuario de una vista. (View DocGUI), agregar un documento, Vista al documento actual o mandar una aplicación entera con múltiples Interfaces de Documento y cientos de scripts.

Una extensión es un plug-in de Arcview GIS que se puede cargar cuando se necesitan funciones adicionales. Varias extensiones vienen incluidas con Arcview GIS. Hay también extensiones opcionales para Arcview GIS que proporcionan un análisis avanzado y capacidades funcionales.

Las extensiones permiten compartir personalizaciones, documentos o cualquier otro objeto de una manera independiente de proyecto y plataforma. Las extensiones son fácil e intuitivamente usadas por cualquier persona y pueden ser creadas también por cualquier persona familiarizada con el lenguaje Avenue

Las extensiones pueden ser usadas para muchos propósitos diferentes. ESRI crea muchos de sus nuevos productos en extensiones (Network Analyst, Arcview Spatial Analyst, 3D Analyst), pero las extensiones pueden ser creadas por cualquiera y eso es un método excelente para compartir el trabajo con otras personas.

Las extensiones pueden contener cualquier objeto (vistas, scripts, menús, botones, etc.) y tienen scripts con las propiedades que le dicen a Arcview como cargar o descargar, instalar o desinstalar los objetos definidos en la extensión. Los objetos propiedad de una extensión no pueden ser escritos en un archivo de proyecto o cualquier archivo ODB. Los objetos que poseen las extensiones residirán en el "espacio de extensión".



Así, si la extensión instala un botón en un DocGUI y el usuario final personaliza ese botón, esas actualizaciones no serán escritas fuera del archivo de proyecto. Similarmente, si la extensión instala una Vista en el proyecto y el usuario cambia las leyendas o agrega otros temas, estos cambios no son salvados al salvar el proyecto. Si se quieren objetos en la extensión para ser salvados en el archivo de proyecto, se debe clonar el objeto e instalar el clon.

Se debe tener particular cuidado cuando una extensión o un proyecto puede ser dependiente de otra extensión. Una dependencia significa que el proyecto dependiente o extensión puede abrir solamente después de que la extensión requerida sea cargada en el sistema. Si la extensión es cargada debido a una dependencia en ella, será descargada cuando el objeto dependiente cierre o cuando la extensión dependiente se descargue.

Las características antes descritas del lenguaje Avenue y el ambiente de desarrollo de aplicaciones de Arcview fueron la base para crear la Herramienta Software Para el Análisis de Cobertura de una Señal RF en Sistemas de Comunicación Móvil Celular que fundamenta este trabajo de grado.



## 2. MODELADO DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE USANDO ARCVIEW

Lo primero que se debe comprender es que ARCVIEW es un SIG, por lo tanto posee ya unas herramientas propias que permiten operar de manera transparente muchos de sus elementos (hardware, software, información, personas y procedimientos). Es por ello que se debe hacer una breve aproximación al entorno GIS de ArcView.

La estructura mas grande en Arcview se denomina proyecto, una colección de documentos asociados con los que se trabaja durante la sesión de Arcview.

Los proyectos pueden contener cinco tipos de documentos: vistas, tablas, gráficos, layouts (o salidas impresas) y scripts.

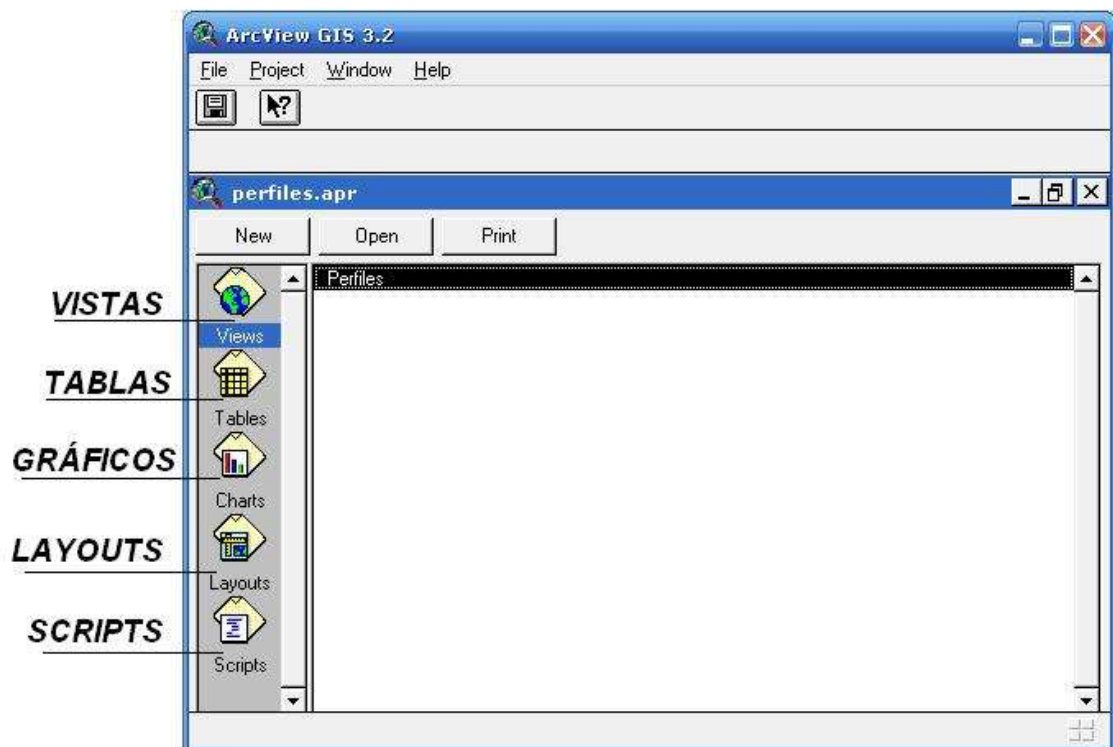


Figura 11. Ventana principal ArcView.



La ventana de “proyecto” muestra los nombres de todos los documentos contenidos en un proyecto ArcView. Un proyecto organiza y almacena el estado de todos estos documentos.

El proyecto gestiona cómo y dónde se despliegan los documentos, mantiene activas las selecciones de documentos y define la apariencia de la ventana de aplicación. Es el equivalente a hacer un retrato rápido del estado de Arcview en el momento de grabarlo. Toda la información del proyecto a su vez, se almacena en un fichero en formato ASCII y siempre tiene extensión *.apr* (ej. perfiles.apr).

## 2.1 View (vista)

Una vista despliega un mapa conteniendo en cada capa de información (un tema). Por ejemplo, carreteras, límites municipales, núcleos de población y colegios. Una vista es un mapa interactivo que despliega temas de información geográfica.

La vista se acompaña de los menús, botones y herramientas (GUI) propias para realizar operaciones sobre vistas y temas, estos pueden personalizarse.

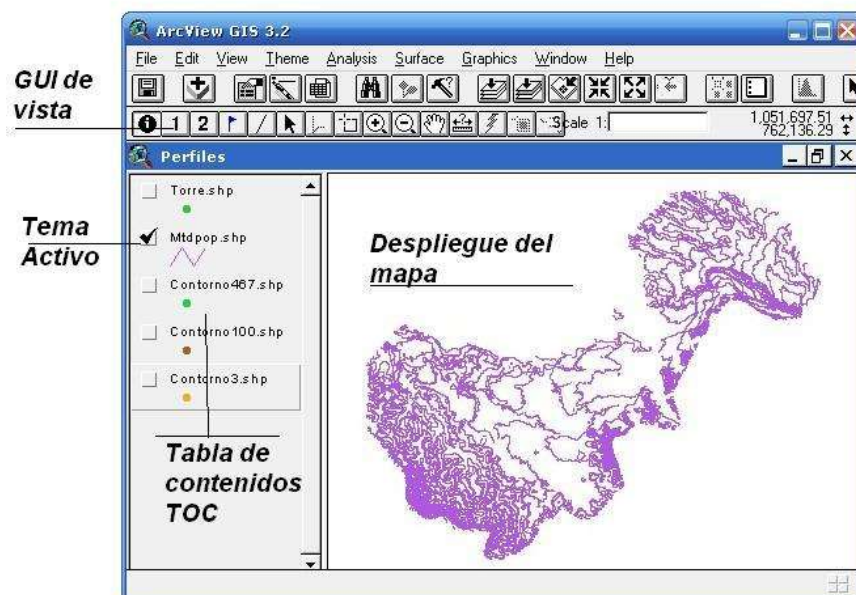


Figura 12. GUI para una Vista.



La ventana “vista” tiene dos partes, la Tabla de Contenidos (TOC) y el área de despliegue. La Tabla de Contenidos lista los temas y muestra sus leyendas; el área de despliegue por su parte muestra los elementos para cada tema.

## **2.2 Theme (Tema)**

Un tema es un conjunto diferenciado de elementos geográficos, los cuales se manipulan en una vista. Se puede visualizar la información de cada tema, activándola en la tabla de contenido, esta se mostrará en el área de despliegue.

Los temas pueden ser creados desde una variedad de fuentes de datos, inclusive mapas digitales existentes, imágenes y ficheros de datos tabulares. Los elementos del tema representan objetos geográficos usando tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos. Por ejemplo, un tema puede representar autopistas como líneas, bancos como puntos y municipios como polígonos.

Los temas basados en fuentes de datos espaciales, como coberturas ArcInfo y archivos Shape de ArcView, y temas basados en fuentes de datos tabulares que contienen localizaciones geográficas, tienen sus tablas asociadas. Cada elemento tiene un único registro en la tabla de atributos, que describe las características de dicho elemento.

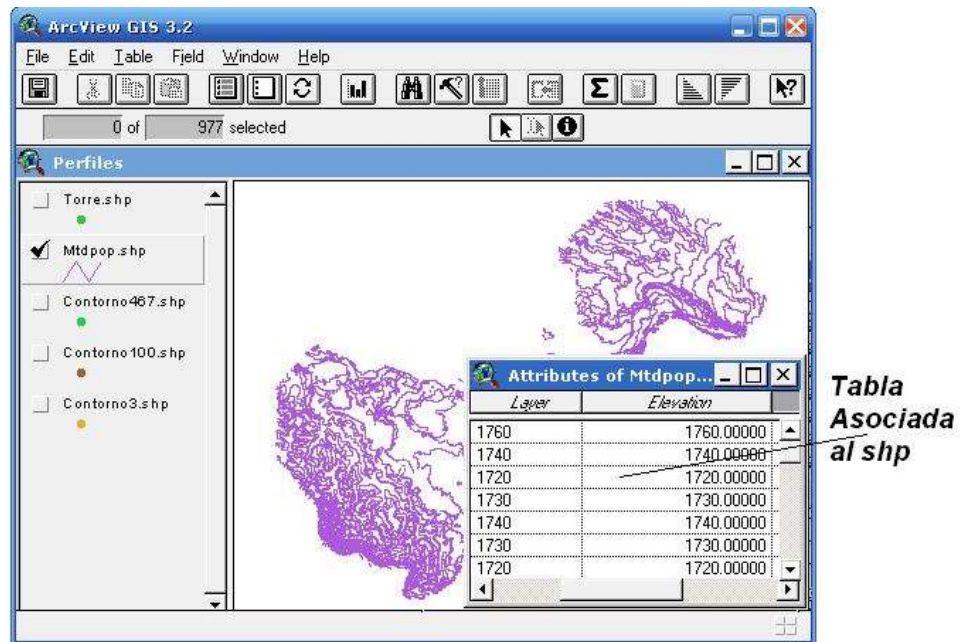


Figura 13. Tema Shape y su Tabla Asociada.

Un archivo tipo shape es de formato propio de ArcView y está diseñado para almacenar información geográfica y atributos para un conjunto de elementos geográficos. La geometría para un elemento es almacenada como una forma que comprende un conjunto de coordenadas de vectores (punto, línea, polígono).

Los tres archivos que ArcView crea para cada shape son:

- \*.shp almacena la geometría del elemento (información sobre la forma y la localización).
- \*.shx almacena el índice de la geometría del elemento.
- \*.dbf un fichero dBase que almacena la información de atributos de elementos.

El archivo DBF, puede ser manipulado desde cualquier gestor de base de datos, inclusive desde Microsoft Excel.



### 2.3 Table (tablas):

En ArcView una tabla es una muestra de datos tabulares. Una tabla contiene información descriptiva acerca de elementos sobre un mapa (por ejemplo países, clientes, o propietarios). Cada fila, o registro, en una tabla define un miembro del grupo representado. Cada columna o campo, define una sola característica común a todos los miembros, como el nombre del país, el número de cliente o la dirección.

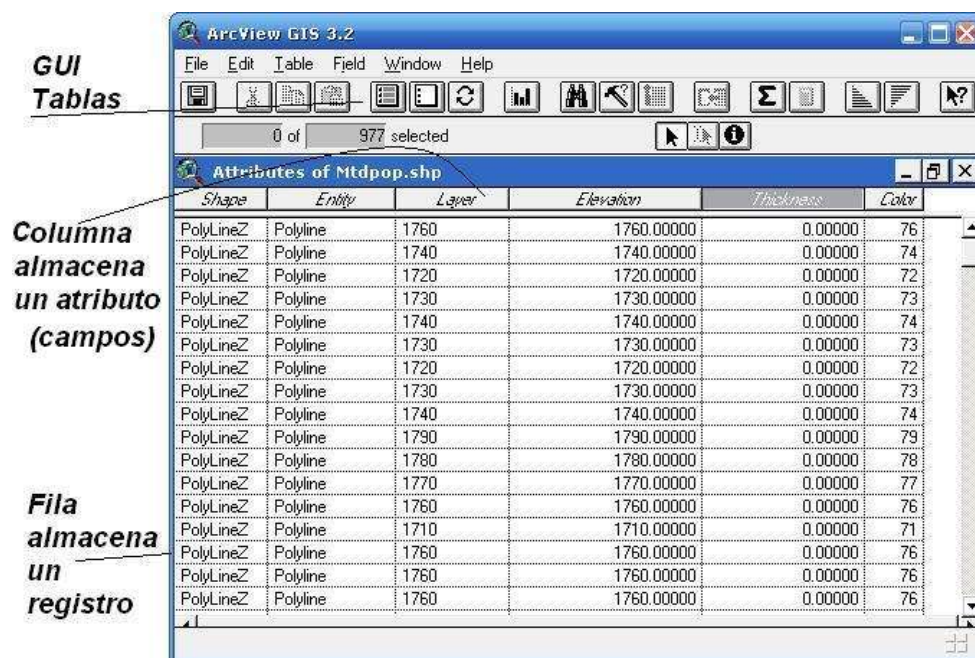


Figura 14. GUI para Tablas.

### 2.4 Chart (gráficos):

Los gráficos como su nombre lo indica, son una representación gráfica de datos tabulares y proporcionan una forma adicional de visualizar la información. Se puede utilizar gráficos para mostrar, comparar y consultar información de atributos o por campos de una tabla. Por ejemplo, puedes señalar una porción de un gráfico de sectores para mostrar el registro al cual esa porción alude. Un gráfico es dinámico porque refleja el estado actual de los datos en la tabla; cualquier cambio que se produzca en los datos en la tabla es automáticamente reflejado en el gráfico.



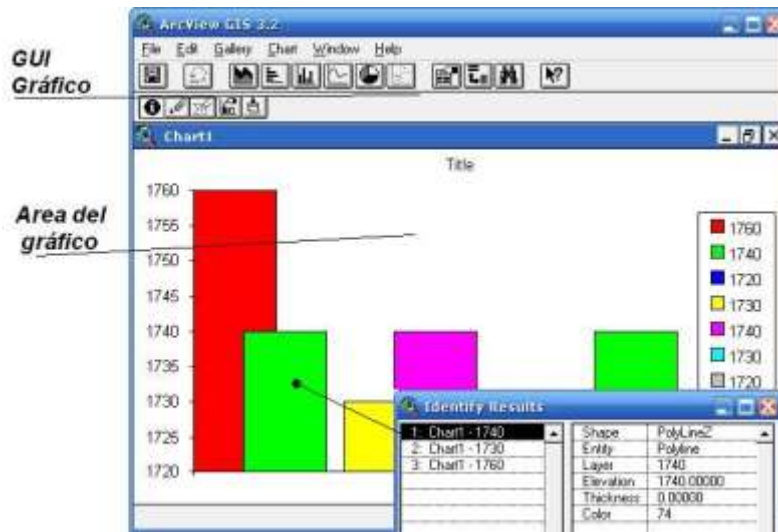


Figura 15. GUI para Gráficos.

## 2.5 Layouts (composiciones de mapas para impresión ).

En un documento Layout se pueden combinar múltiples documentos ArcView, componentes de mapa como barras de escala y flecha del Norte e ilustraciones gráficas como límites y logos para crear un mapa con calidad de presentación para impresión. Por ejemplo, un Layout puede incluir dos vistas diferentes de sus datos, un gráfico para comparar, una flecha del Norte para orientar al lector del mapa y un título que indique al lector del mapa el objetivo de este. Una vez creado el Layout se puede enviar a un trazador o impresora en una variedad de formatos, e incluso guardarlo como una patrón para futuros mapas que se creen.



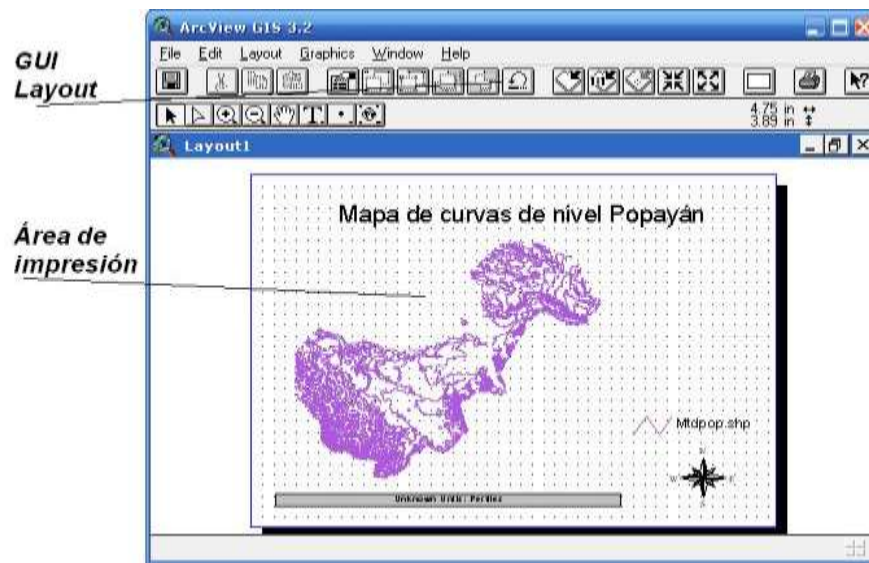


Figura 16. GUI para Layouts.

## 2.6 Script (Entorno de programación):

Las aplicaciones Gis de Arcview personalizadas se crean con los scripts de Avenue. Los scripts se escriben, compilan, testean y depuran desde el documento del Editor de Scripts de Arcview.

Los script se usan principalmente para:

- Automatizar tareas repetitivas
- Extender las funcionalidades básicas de Arcview (crear aplicaciones)
- Personalizar la Interface de usuario por defecto
- Interactuar con otras aplicaciones.

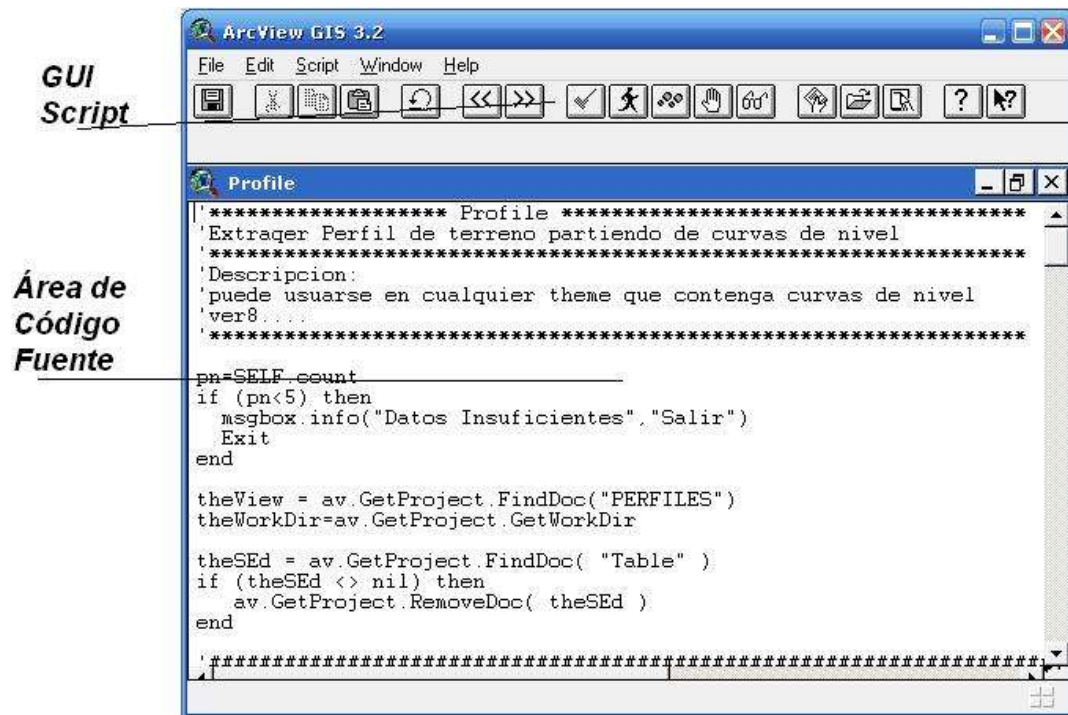


Figura 17. GUI para Scripts.

Se puede usar el Editor de Scripts para crear sus propios scripts o modificar los scripts de Arcview existentes.

Hay cuatro pasos para crear un primer script en Avenue:

- Introducir el código
- Compilar el código
- Testear
- Ejecutar el script

Finalmente puede ser guardarlo cuando el código sea correcto.

### 2.6.1 Introducir el código

El primer paso es introducir el código en una ventana de scripts. Hay tres formas de hacerlo:



- Tecleando en la ventana del script,
- Copiando un script existente en la ventana del script
- Copiando un fichero de texto en la ventana del script.

Existe una gran cantidad de script ya creados que pueden ser llamados en el área de código desde la GUI (Load system script) y que se encuentran diseñados para ahorrar tiempo en el proceso de reprogramar Arcview.

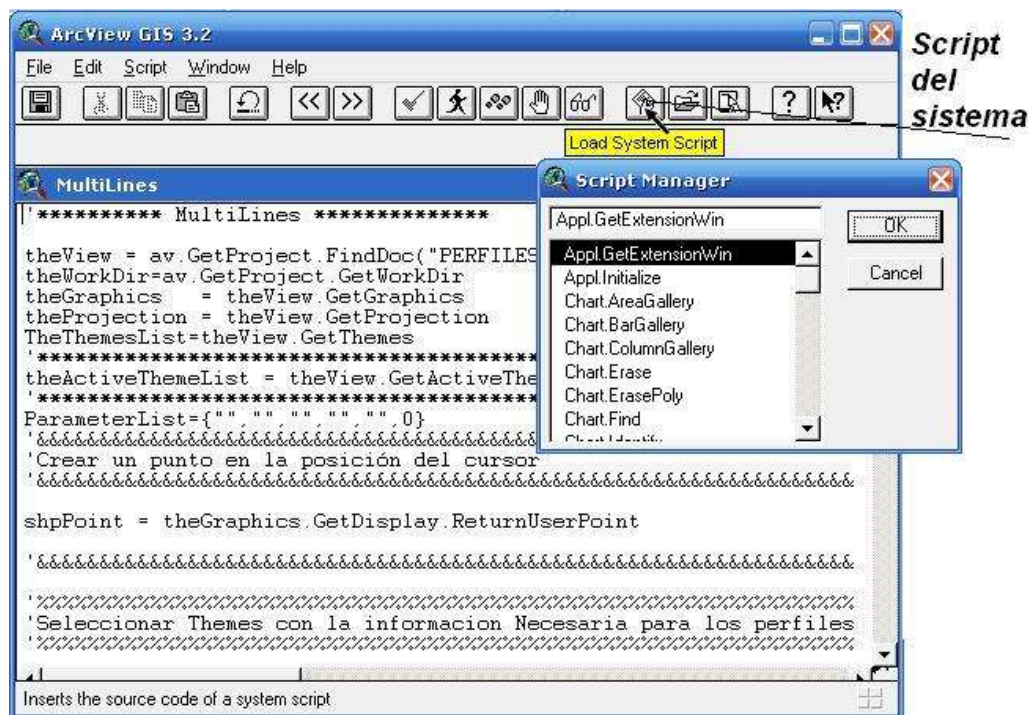


Figura 18. Scripts del Sistema.

## 2.6.2 Compilar el script

El compilar el código, se hace para convertirlo al formato que entiende Arcview y encontrar los errores de sintaxis.



### **2.6.3 Testear y depurar el script**

Cuando no existen errores de compilación, se está preparado para testear el script. Si se encuentra un error durante la ejecución, se debe corregir el error, entonces se puede recompilar y retestear el script.

Este procedimiento, conocido como depuración, puede necesitar ser repetido varias veces antes de que el script proporcione los resultados deseados.

### **2.6.4 Guardar el script**

Cuando el script sea correcto, debe ser guardado con el proyecto. Así puede ser asociado con un control.

Los usuarios, para ejecutar los scripts, deben actuar sobre los botones, herramientas, menús y campos de menú de la GUI de Arcview.

## **2.7 Construcción del MTD**

Desafortunadamente no existen mapas de terreno digital del área de Popayán para uso público, existen pero se encuentran restringidos para uso militar y/o privado, lo que hace que sea difícil la consecución del mismo, razón por la cual se creó uno manualmente utilizando el mapa del Plan de Ordenamiento Territorial POT que originalmente se encuentra en formato de AutoCAD.

El formato del mapa POT es completamente plano (las curvas de nivel solo son líneas sin valor de elevación). Por medio de autocad, se realizan unas modificaciones para agrupar todas las curvas de nivel en un mapa nuevo y convertirlo a formato DFX con el fin de que esté en un formato compatible con ArcView y por lo tanto pueda ser importado.



En ArcView se convierte a Shape (formas de punto, líneas y polígonos como se ha expuesto anteriormente). A continuación se deben agregar los campos adicionales para poder almacenar el valor de la elevación de terreno para cada capa.

Dado que cuando se guarda un tema en formato shape, se generan los tres archivos \*.shp, \*.shx y \*.dbf, este último contiene la tabla con los registros de cada una de las capas de nivel, las cuales pueden ser editadas en cualquier gestor de base de datos que reconozca tablas DBF. Particularmente se utilizó Microsoft Excel para su edición y así generar los valores de elevación.

Teniendo este tema con las líneas de elevación, se puede generar el MTD utilizando una extensión propia de ArcView llamada "3D Analyst" utilizando un proceso llamado TIN (Triangulated Irregular Network) que permite extrapolar a partir de las curvas de nivel, una superficie construida con diminutos triángulos que finalmente unidos generan el MTD.

Trabajar con esta superficie del MTD de Popayán requiere mayores prestaciones computacionales lo cual representa un limitante para la posterior masificación del uso de la herramienta. Por lo tanto fue necesario pensar en una alternativa para desarrollar una aplicación que pudiese correr en entornos de trabajo normal o con prestaciones computacionales bajas. Esto se consiguió utilizando el mapa de curvas de nivel que es mucho mas liviano y sobre él, se generan los perfiles de terreno digital que son los que finalmente se requieren para realizar los cálculos.

## **2.8 Modelado de la herramienta software**

### **2.8.1 Descripción del problema (Requerimientos)**

El usuario del simulador solicita el cálculo de la pérdidas totales para un sistema de telefonía móvil celular ubicando una posible estación base en un lugar de su preferencia, utilizando el modelo de Hata-Okumura y el de Walfisch-Ikegami, para los cuales se deben fijar unos parámetros iniciales solicitados a través de formularios de entrada de datos. El



sistema genera los múltiples perfiles y realiza los cálculos de las pérdidas y los almacena en un nuevo tema llamado “superficie”.

El simulador genera por medio de SIG unas superficies en escala de color que representa el mayor o menor grado de pérdidas según sea mayor o menor la intensidad del color, se almacenan estos resultados en temas separados para realizar las comparaciones respectivas.

### 2.8.2 Diagrama de casos de uso y su descripción

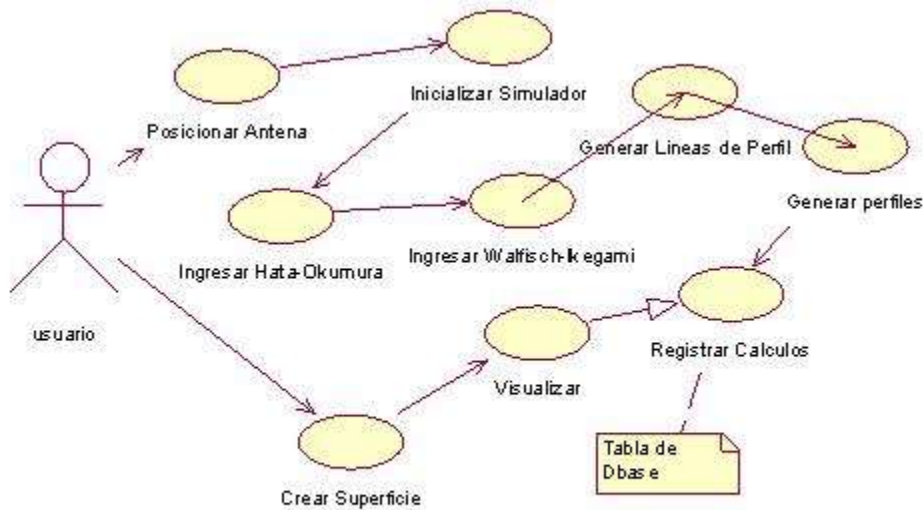


Figura 19. Casos de uso.

Caso de Uso	<b>Posicionar antena</b>
Actores	Usuario
Propósito	Ubicar el punto para la ubicación de la estación base.
Resumen	El usuario solicita por medio de la GUI, la generación de un punto donde desea ubicar la estación base.
Tipo	Primario



a. Precondiciones

El usuario debe haber ingresado previamente el tema que posea las curvas de nivel con su respectivo valor de elevación.

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando el usuario elige la opción “Generar perfiles” de la GUI de la vista correspondiente. El usuario debe hacer un solo clic en el punto de su preferencia donde desee ubicar la antena de la estación base.

Caso de Uso	<b>inicializar simulador</b>
Actores	Usuario
Propósito	Permitir al usuario escoger entre los diferentes temas, cual es el que tiene las curvas de nivel, cual es que tiene los puntos de contorno por donde se van a generar las líneas para los perfiles y como se llama el campo que tiene el valor de elevación.
Resumen	Dado que la aplicación se debe poder usar con otras curvas de nivel, no solo con las de Popayán, mediante este caso de uso se le da la opción al usuario que selecciones con cual mapa de curvas de nivel desea genera los perfiles, cual es tema que tiene los puntos de contorno y cual es el nombre del campo en las curvas de nivel, que posee el valor de elevación (valor en el eje z) para poder generar los perfiles.
Tipo	Primario

a. Precondiciones

Debe haberse cargado al menos 2 temas, unos de ellos debe contener las curvas de nivel y el otro debe contener los puntos del contorno.

Debe haberse establecido una posición para la estación base.





b. Flujo Principal

- Este caso de uso se inicia cuando el sistema ya tiene una posición inicial donde se ha establecido que esta la estación base, El sistema presenta al usuario el formulario para escogencia de cada uno de los temas y valores mínimos para arrancar la simulación. El usuario debe escoger entre dos opciones: aceptar o cancelar.
- Si el usuario oprime el botón Aceptar, subflujo S1: continuar. (E1)
- Si el usuario oprime el botón Cancelar, subflujo S2: Cancelar generación de perfiles.

c. Subflujos

- Subflujo S1: continuar. El sistema activa el caso de uso Ingresar Hata-Okumura .
- Subflujo S2: Cancelar. El sistema envía un mensaje de “Datos insuficientes” y se cancela esta generación de perfiles. El usuario debe iniciar nuevamente el procedimiento desde el comienzo.

Caso de Uso	<b>Ingresar Hata-Okumura</b>
Actores	Usuario
Propósito	Permitir al usuario entrar los parámetros para el modelo Hata-Okumura.
Resumen	Para el cálculo del modelo Hata-Okumura se requieren unos valores que deben ser ingresados por medio del formulario.
Tipo	Primario

a. Precondiciones

- Parámetros mínimos debidamente inicializados.
- Conocer el rango de operación de cada uno de los parámetros a ingresar.





b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando el usuario ya ha ingresado los datos de inicialización de la aplicación. Recoge por medio de un formulario de entrada de datos, los parámetros mínimos para poder realizar el cálculo del modelo Hata-Okumura.

c. Flujos de excepción

E1: Error al validar la información de entrada. El sistema muestra una caja de dialogo donde se el informa al usuario que dicho valor esta fuera de rango y que debe ser reingresado por un valor correcto.

Caso de Uso	<b>Ingresar Walfisch-Ikegami</b>
Actores	Usuario
Propósito	Permitir al usuario entrar los parámetros para el modelo Walfisch-Ikegami
Resumen	Para el cálculo del modelo Walfisch- Ikegami se requieren unos valores que deben ser ingresados por medio del formulario.
Tipo	Primario

a. Precondiciones

Parámetros mínimos debidamente inicializados.

Conocer el rango de operación de cada uno de los parámetros a ingresar.

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando el usuario ya ha ingresado los datos de inicialización de la aplicación. Recoge por medio de un formulario de entrada de datos, los parámetros mínimos para poder realizar el cálculo del modelo Walfisch- Ikegami.



c. Flujos de excepción

E1: Error al validar la información de entrada. El sistema muestra una caja de dialogo donde se el informa al usuario que dicho valor esta fuera de rango y que debe ser reingresado por un valor correcto.

Caso de Uso	<b>Generar Líneas de Perfil</b>
Actores	Sistema
Propósito	Generar las líneas de perfil, uniendo el punto inicial de la estación base con cada uno de los puntos del tema contorno.
Resumen	Genera las líneas por donde debe calcularse cada perfil de terreno y activa la generación de los perfiles.
Tipo	Primario

a. Precondiciones

Validadas en los casos de uso anteriores.

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando el usuario ya ha ingresado en su totalidad la información para generar los perfiles y realizar los cálculos. Se comienza a trazar cada una de las líneas por donde va cada perfil y se activa el caso “calcular perfil”.

Caso de Uso	<b>Calcular Perfil</b>
Actores	Sistema
Propósito	Calcular cada perfil de terreno.
Resumen	Genera los perfiles de terreno, con sus respectivos valores para cada uno de los modelos.
Tipo	Primario



a. Precondiciones

Validadas previamente

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando ya se han generado las líneas de perfil. Se comienza a calcular para cada línea un perfil y se activa el flujo que crea y almacena la información en un shp llamado “superficie”

Caso de Uso	<b>Visualizar</b>
Actores	Usuario
Propósito	Modificar la vista de salida en arcview.
Resumen	Permitir seleccionar uno u otro de los elementos calculados para poder hacer comparaciones.
Tipo	Primario

a. Precondiciones

Existan objetos shape y/o superficies

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando el usuario selecciona y/o activa y/o mueve los objetos existentes en el TOC.

Caso de Uso	<b>Generar Superficie</b>
Actores	Usuario
Propósito	Generar una superficie con los valores del shape “superficie.shp”.
Resumen	Crear una superficie que permita visualizar los resultados para cada uno de los modelos
Tipo	Primario



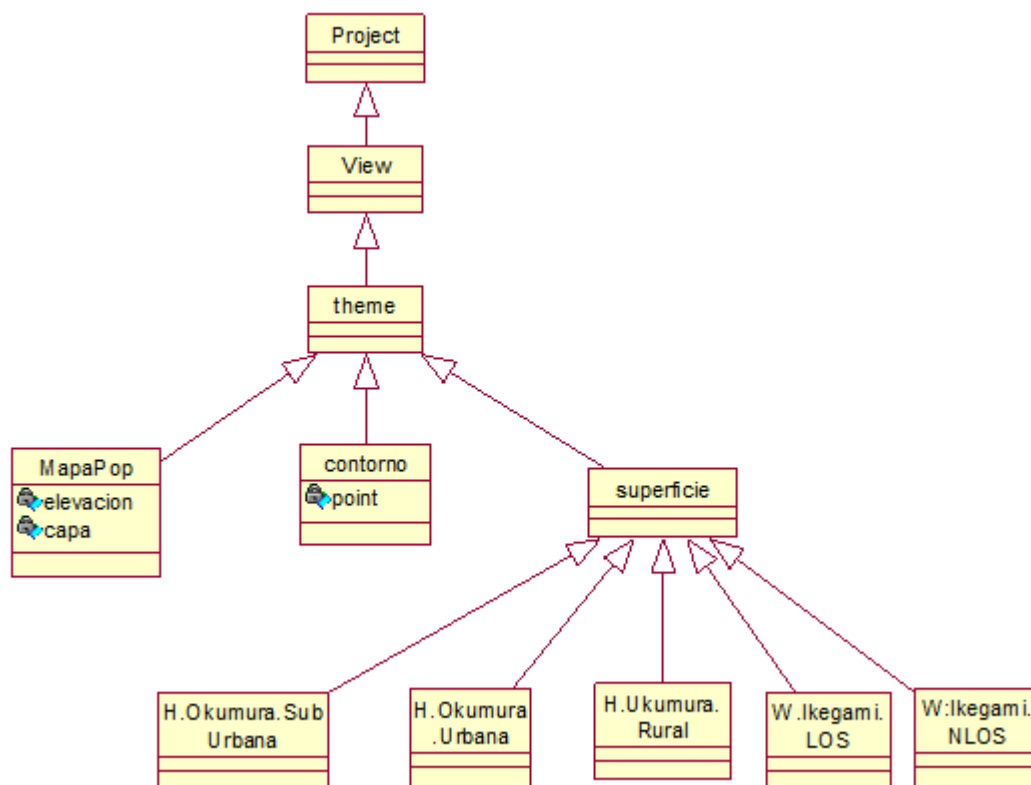
a. Precondiciones

Shape “superficie.shp” calculada con anterioridad

b. Flujo Principal

Este caso de uso se inicia cuando ya se han generado las líneas de perfil. Se comienza a calcular para cada línea un perfil y se activa el flujo que crea y almacena la información en un shp llamado “superficie”

**2.8.3 Diagrama de clases**



**Figura 20. Diagrama de Clases.**

Los diagramas de clases de los objetos de ArcView que se han usado se encuentran en la ayuda de ArcView en la siguiente ruta:



Menú HELP/HELP TOPICS/INDICE/

DIGITAR “Functional Overview ↵”

Es de aclarar que aquí se encuentra toda la estructura en formato de diccionario, para visualizar el contenido, se debe dar clic en cada clase que se desee referenciar.



### **3. ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA SOFTWARE**

#### **3.1 Especificaciones generales**

La herramienta software fue desarrollada en Avenue que es el lenguaje de programación de ArcView 3.2. Está diseñada para generar automáticamente perfiles de terreno tomando un mapa de curvas de nivel (un tema) intersecándolas con una línea que se genera desde el punto inicial (estación base) hasta un punto de los del contorno (otro tema).

La herramienta software está completamente abierta y su código fuente se encuentra en el Anexo B. Para funcionar se requiere del compilador de ArcView, por lo tanto si no se tiene instalada alguna versión de ArcView 3x, no es posible su utilización.

Las nuevas versiones de ArcView (la versión 8 y 9x) ya se encuentran en el mercado y poseen algunos elementos que permiten ejecutar script hechos en Avenue, pero no se ha comprobado cien por ciento la compatibilidad, pues migraron su lenguaje de programación a VISUAL BASIC.

Existe una condición mínima para que el tema de curvas de nivel sirva para realizar los cálculos. Se debe tener un campo que represente la elevación, no necesariamente con este nombre, es por ello que este nombre del campo es solicitado por la aplicación al comienzo de la simulación.

El tema denominado “contorno”, no es mas que una agrupación de puntos que fueron necesarios para controlar la generación automática de las líneas de perfiles, lo que quiere decir que si se utiliza otro tema que tenga otros puntos, también serviría, es más, se puede editar el archivo de puntos para eliminarle o agregarle puntos y la aplicación los tomaría también generando perfiles de terreno para los nuevos puntos al igual que los existentes.



Al final del proceso de generación de perfiles, la aplicación muestra un nuevo tema llamado “superficie”. Este tema, contiene todos los puntos generados por la intersección de las líneas de perfil con las líneas del mapa de curvas de nivel y en cada punto se realizan los cálculos de pérdidas según los parámetros iniciales para el modelo Hata-Okumura y Walfisch-Ikegami. Los nombres de los campos calculados se describen a continuación:

- **D**= distancia en metros.
- **Dkm**= distancia en kilómetros
- **L\_OKU\_SU**= pérdidas para el modelo Hata-Okumura área Suburbana
- **L\_OKU\_U**= pérdidas para el modelo Hata-Okumura área Urbana
- **L\_OKU\_R**= pérdidas para el modelo Hata-Okumura área Rural
- **L\_OKU\_A**= pérdidas para el modelo Hata-Okumura área Abierta
- **IKEGAMI\_LO**= pérdidas para el modelo Walfisch-Ikegami área LOS (línea de vista)
- **IKEGAMI\_NL**= pérdidas para el modelo Walfisch-Ikegami área NLOS (No tiene línea de vista)

Hasta este punto, no es necesario tener ninguna de las extensiones adicionales de ArcView para realizar los cálculos. Para realizar las superficies en “degrade” de color con los valores calculados, es necesario realizar una extrapolación, que permite generar los puntos que harían falta entre una curva de nivel y otra, para finalmente generar una malla con todos esos puntos y poder generar una superficie. Para este último proceso es necesario instalar la extensión de ArcView llamada “ArcView Spatial Analyst” y poder utilizar una herramienta que permite realizar la extrapolación y generación de las superficies (menú surface/interpolate grid). Existe también otra posibilidad para generar superficies a partir de puntos calculados y es usando otra extensión llamada “3D Analyst”, utilizada para generación del MTD.

### 3.2 Pruebas y resultados

La herramienta software le permite al usuario la generación de todos los perfiles necesarios para la obtención de los resultados y además genera una capa que contiene solo los puntos calculados. Si el usuario lo desea, puede generar solo la capa de puntos calculados la cual permite la generación de las gráficas de resultados donde los niveles de pérdidas son ilustrados mediante un degrade de color.

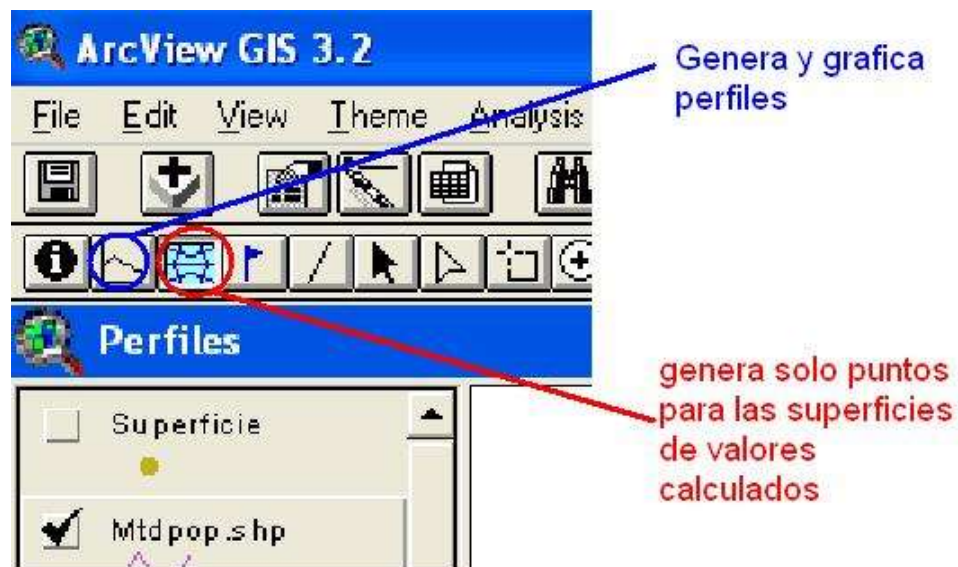


Figura 21. Iconos de generación de resultados.

La cantidad de perfiles necesarios para que las gráficas de resultados sean adecuadas es alta y el cálculo de esta gran cantidad de perfiles es una de las funciones que automáticamente realiza la herramienta software. Para esto, la aplicación utiliza los contornos como por ejemplo la capa “contorno100.shp” que se puede observar en la Figura 22. El número 100 se origina en que son 100 unidades de espacio para ArcView entre punto y punto de contorno lo que genera 315 puntos finalmente.



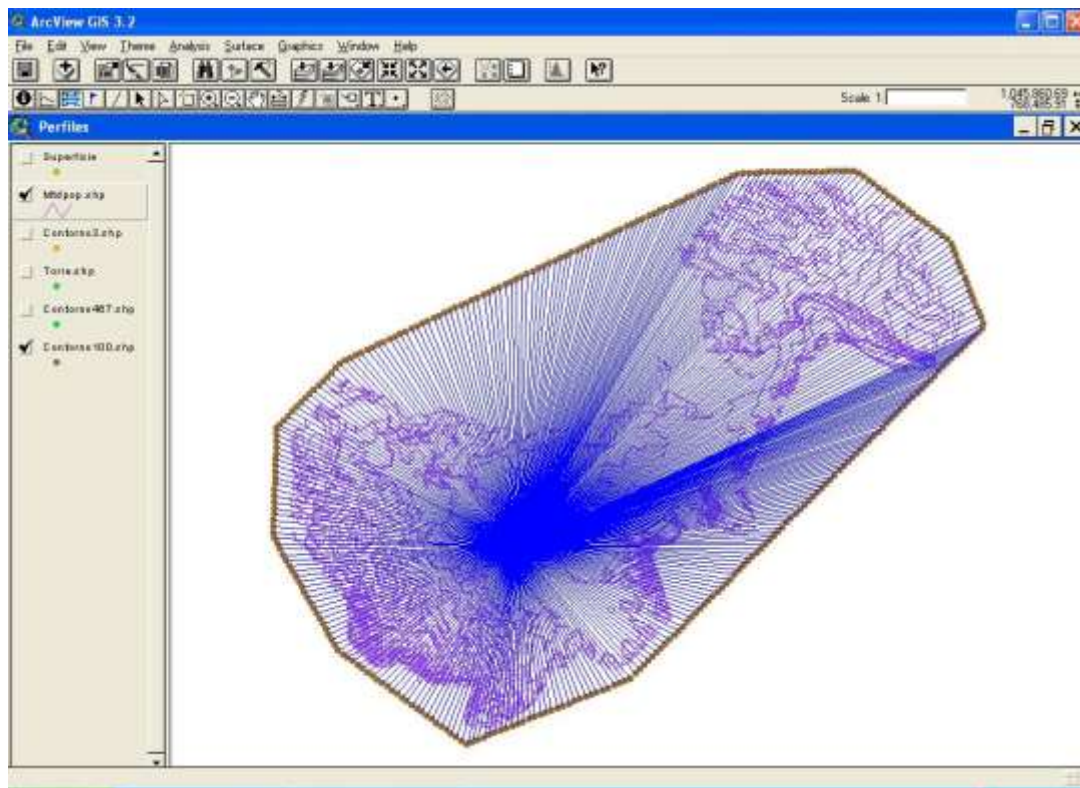


Figura 22. Líneas de perfiles para contorno 100.

Para cada uno de los 315 puntos externos utilizados como contorno la aplicación genera una línea que lo une con la estación base ubicada previamente por el usuario, esta línea, genera un perfil, realiza los cálculos correspondientes a cada modelo y almacena su información.

Para la elaboración de pruebas, es suficiente con analizar un grupo pequeño de perfiles, sabiendo que los demás utilizan la misma fórmula y su comportamiento es similar. Por tal motivo se utiliza la capa "contorno3.shp", que realiza el cálculo de 3 perfiles, como aparece en la figura 23.

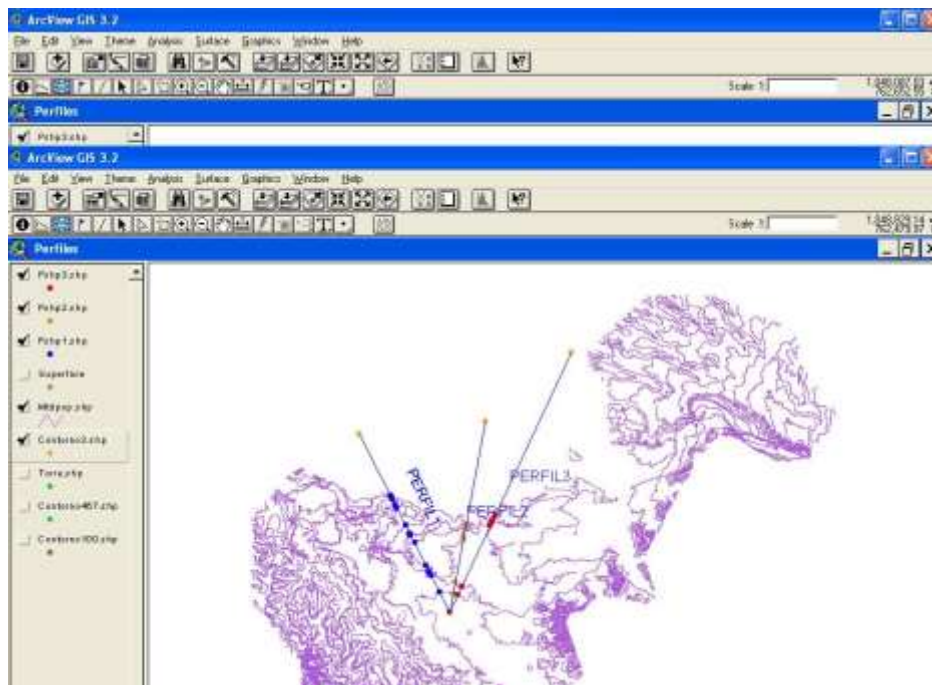


Figura 23. Líneas de perfiles para contorno 3.

Para cada perfil, (por ejemplo PERFIL1) se generan puntos de intersección entre las curvas de nivel del plano base utilizado en la herramienta y la línea del perfil como tal, como se puede observar en la Figura 24.



Figura 24. Puntos generados para cálculos en PERFIL1.



Para cada uno de estos puntos de intersección, la herramienta utiliza los datos geográficos propios de ese lugar y realiza los cálculos de cada modelo según los datos suministrados por el usuario. Los resultados de estos cálculos en cada punto son utilizados para la generación de las gráficas del perfil y las gráficas en escala de color.

La gráfica de perfil se genera realizando el cruce de información entre Distancia y Elevación, pero lo más importante de esta gráfica, es que los puntos de intersección aparecen representados en ella como muestra la Figura 25. El usuario puede obtener la información calculada para cada fórmula en cada punto simplemente utilizando el icono “información” que aparece en la barra de herramientas y dando clic con el Mouse en el punto del cual se desea obtener la información (Figura 26).

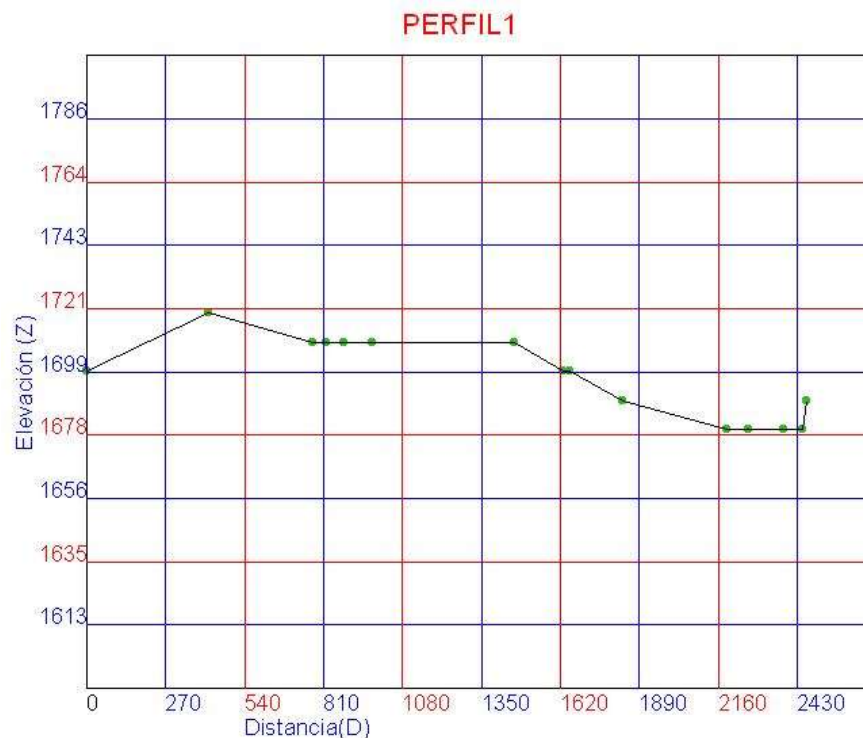


Figura 25. Gráfico de perfil para el PERFIL1.

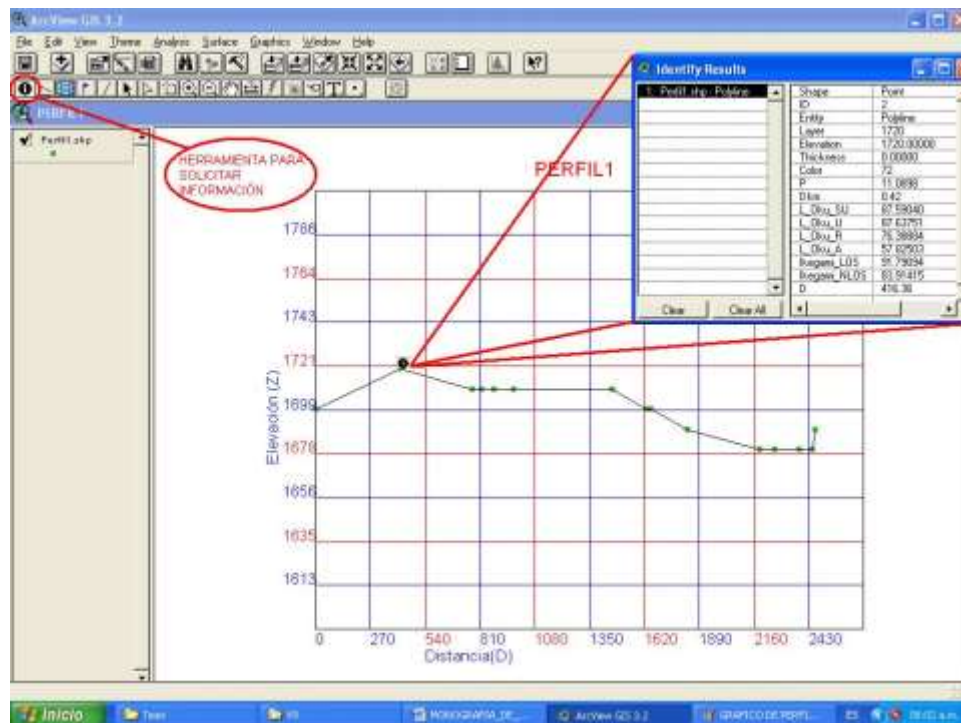


Figura 26. Información de punto en el gráfico de perfil.

Todos estos datos que presenta la herramienta son obtenidos de archivos que son utilizados por ArcView como su base de datos para la generación de las gráficas y para la presentación de la visualización de la información. Para el caso del PERFIL1, se genera el archivo “perfil1.dbf” el cual puede ser revisado por el usuario en cualquier momento ya que queda grabado en el directorio que se haya elegido para guardar los archivos del proyecto ArcView, para lo cual puede utilizar la herramienta “Tablas” de ArcView o Microsoft Excel o programas similares (Figura 27). Para cada perfil la herramienta genera un archivo similar, lo que hace concluir que existen tantos archivos .dbf como perfiles existan en la capa contorno que se haya utilizado.

Si se desea comprobar los resultados, se puede utilizar el mismo programa Microsoft Excel y general las fórmulas de los modelos usados en ArcView con los datos suministrados por el usuario y se puede observar que los resultados son los mismos. Además se puede generar una gráfica propia de Microsoft Excel y observar la similitud con las gráficas de perfil generadas por la herramienta en ArcView (Figura 28).



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ENTITY	LAYER	ELEVATION	THICKNESS	COLOR	P	DKM	L_OKU_SU	L_OKU_U	L_OKU_R	L_OKU_A	IKEGAMI_LO	IKEGAMI_NL	D
2	Polyline	1710	1710,00000	0,00000	71	0,0000	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
3	Polyline	1740	1740,00000	0,00000	74	5,2410	0,21	75,28821	75,28821	64,08665	45,52284	84,13579	78,02558	211,37
4	Polyline	1740	1740,00000	0,00000	74	6,0441	0,24	77,86814	77,86814	66,66658	48,10277	86,74565	79,26393	243,76
5	Polyline	1740	1740,00000	0,00000	74	6,6698	0,27	79,65090	79,65090	68,44934	49,88553	86,85809	80,11965	268,99
6	Polyline	1720	1720,00000	0,00000	72	22,7898	0,92	101,88550	101,88550	90,68394	72,12013	100,73236	90,79217	919,11
7	Polyline	1720	1720,00000	0,00000	72	23,0487	0,93	102,08992	102,08992	90,88836	72,32455	100,85992	90,89029	929,55
8	Polyline	1730	1730,00000	0,00000	73	24,2379	0,98	103,00026	103,00026	91,79873	73,23491	101,42799	91,32726	977,51
9	Polyline	1720	1720,00000	0,00000	72	24,3891	0,98	103,11279	103,11279	91,91124	73,34743	101,49819	91,38127	983,61
10	Polyline	1710	1710,00000	0,00000	71	26,2319	1,06	104,43088	104,43088	93,22932	74,66551	102,32067	92,01394	1057,92
11	Polyline	1710	1710,00000	0,00000	71	33,2158	1,34	106,70239	106,70239	97,50083	78,93702	104,98607	94,06425	1339,58

Figura 27. Archivo .dbf para PERFIL1 visualizado con Microsoft Excel.

El otro tipo de gráfico que se puede obtener es el de la superficie. En este caso y mediante un degrade de colores se pueden observar los niveles de pérdidas sobre el mapa de curvas de nivel, permitiendo que el usuario tenga una idea clara del fenómeno que está ocurriendo desde la ubicación misma de la estación base. ArcView utiliza el archivo “gridpoint.dfl” para poder generar la gráfica. Este archivo contiene la información de todos y cada uno de los perfiles generados. En este punto se debe aclarar que entre mas perfiles existan, mas tiempo tomará el procesamiento de la información para la generación de la gráfica haciendo necesario contar con una estación de trabajo PC con buenas prestaciones tecnológicas.

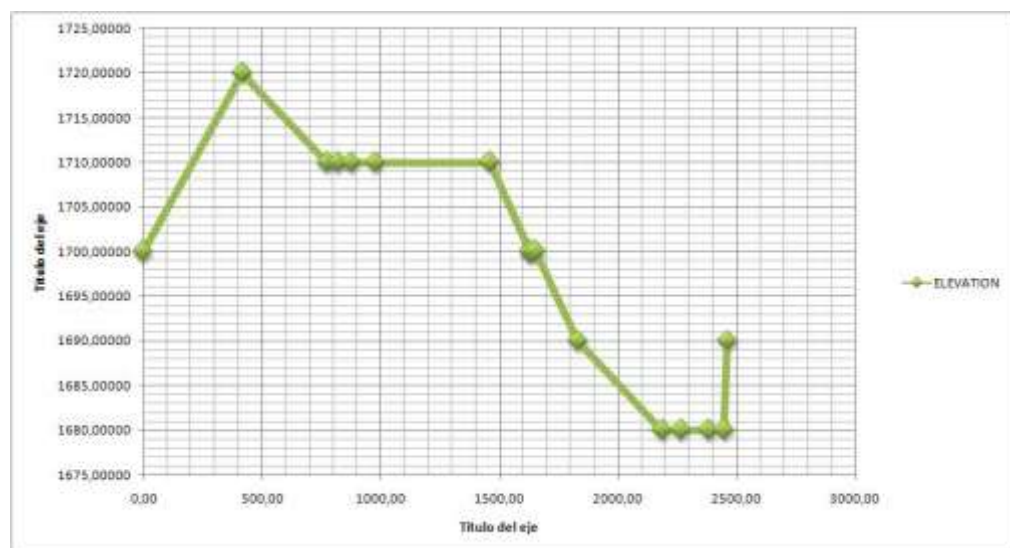


Figura 28. Gráfica de perfil generada desde Microsoft Excel.





A continuación se observan las gráficas obtenidas para cada uno de los modelos utilizados y para cada una de las variaciones de estos modelos:

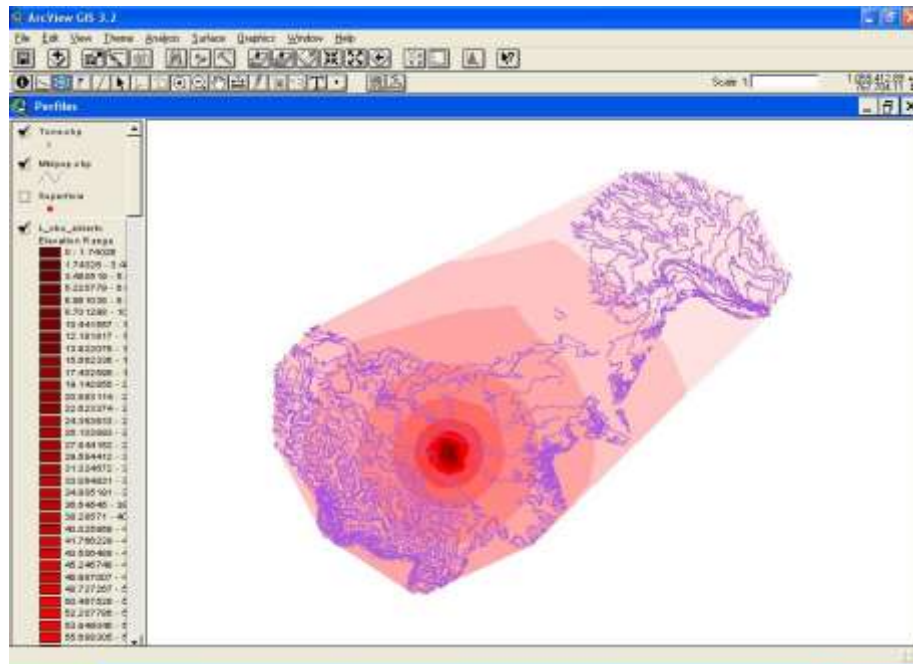


Figura 29. Resultados Modelo Hata-Okumura para área abierta.

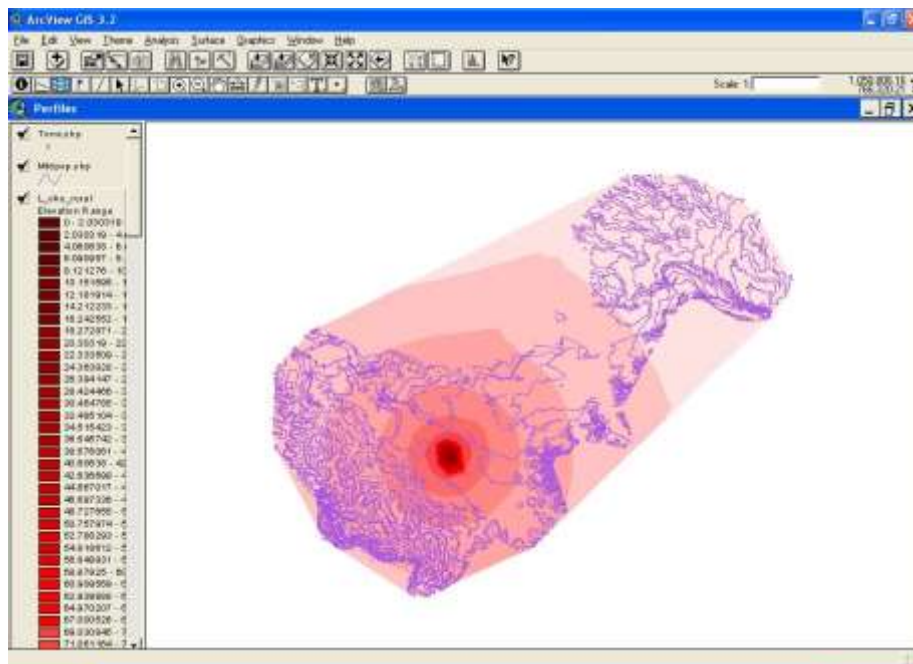


Figura 30. Resultados Modelo Hata-Okumura para área rural.

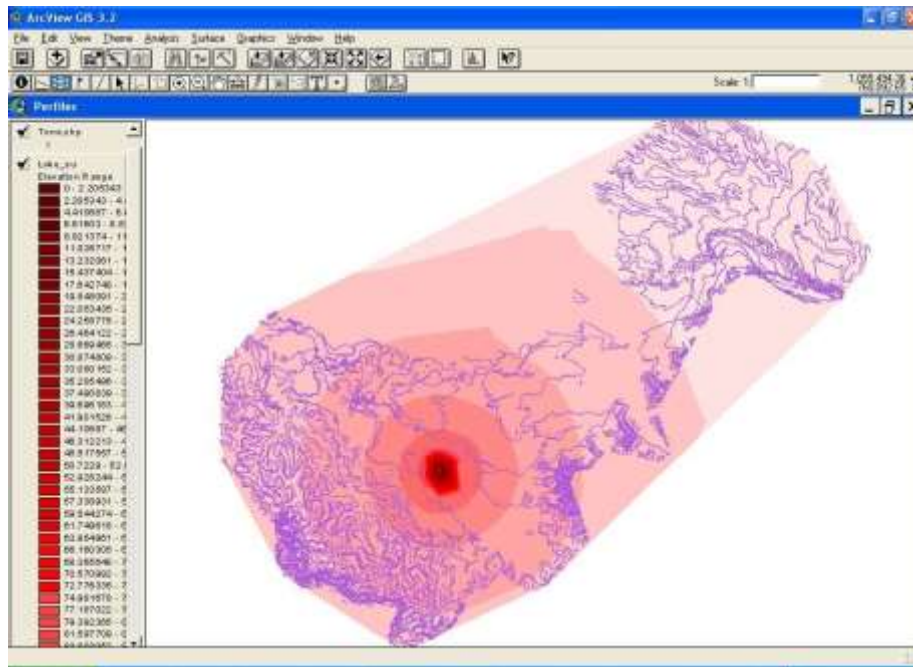


Figura 31. Resultados Modelo Hata-Okumura para área suburbana.

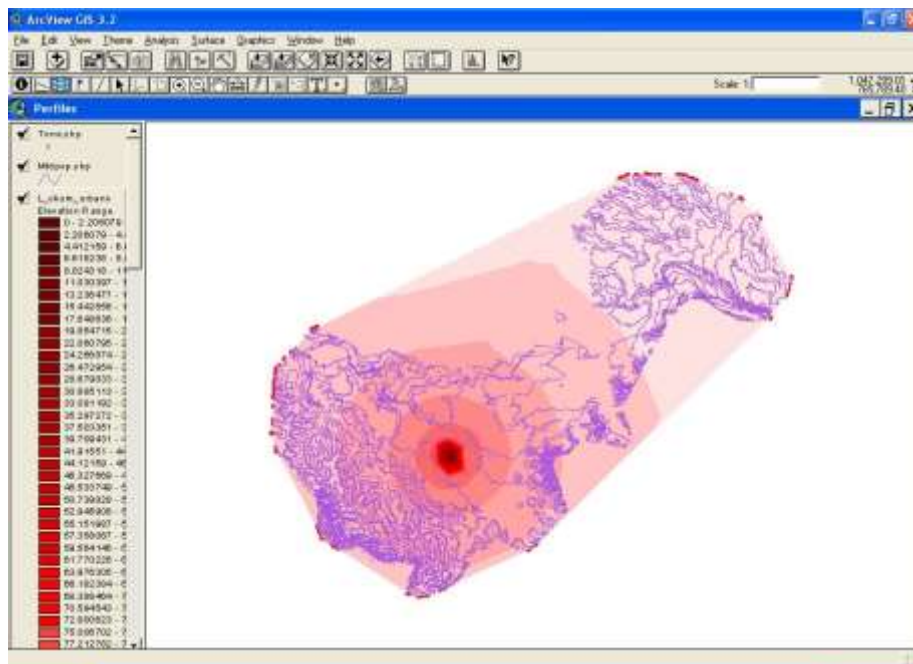


Figura 32. Resultados Modelo Hata-Okumura para área urbana.

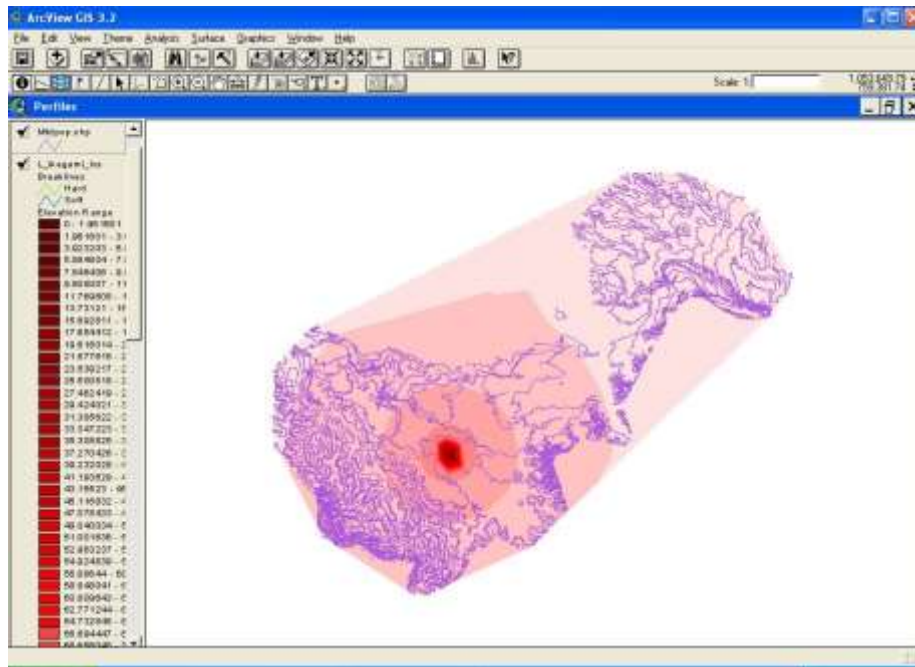


Figura 33. Resultados Modelo Walfisch-Ikegami para caso LOS.

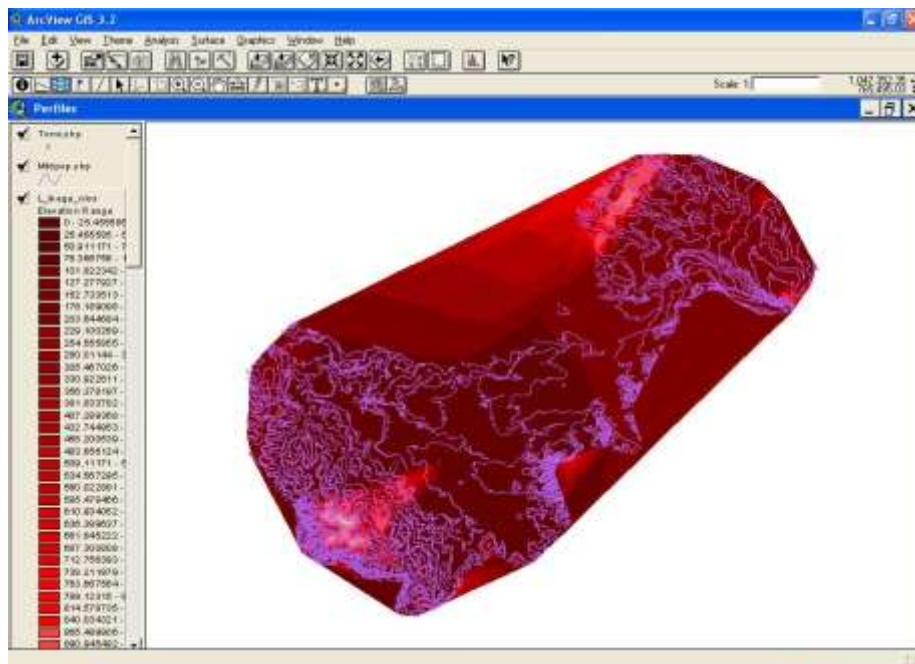


Figura 34. Resultados Modelo Walfisch-Ikegami para caso NLOS.





Además con la tabla de perfil obtenida del archivo perfil1.dbf se puede generar un gráfico comparativo entre los modelos y las pérdidas que estos obtienen como resultado. Las diferencias en estos valores son debidas a las características propias de cada modelo.

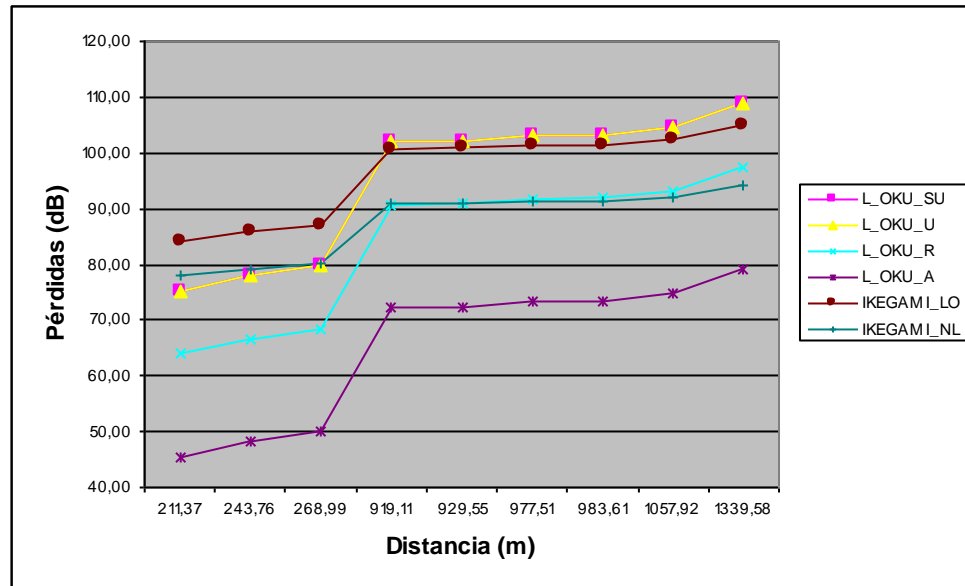


Figura 34. Comparación de resultados de los modelos para PERFIL1.



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- EL objetivo general de este proyecto se alcanzó exitosamente, pues se logró el desarrollo de una herramienta software que realiza el análisis de cobertura de una estación base utilizando para ello el concepto de pérdidas según los modelos de propagación seleccionados, para lo cual se utilizó la herramienta ARCVIEW y su lenguaje de programación AVENUE con la utilización de cartografía digital.
- Se obtuvieron de una manera clara los conceptos necesarios para la implementación de los modelos de propagación utilizados en la herramienta para la realización de los cálculos.
- Se realizaron las adecuaciones necesarias a la cartografía existente de la ciudad de Popayán para su utilización como entorno geográfico de la aplicación, obteniendo así todo el marco teórico y captando los conceptos necesarios para su adecuado manejo.
- La herramienta permite ver los resultados de forma clara, debido a la cantidad de información que arroja según los datos de entrada que proporcione el usuario para cada uno de los métodos de propagación. El usuario podrá analizar los resultados obteniéndolos en una tabla o simplemente viendo las gráficas obtenidas, con lo que se considera alcanzado uno de los objetivos importantes de este trabajo de grado.
- Los altos grados de penetración de la telefonía celular a nivel mundial y su acelerado desarrollo, así como la presencia de este mismo panorama para nuestro país, hace necesario concluir la importancia del manejo de este tema en los ingenieros de electrónica y telecomunicaciones presentes y futuros como una posibilidad de crecimiento profesional, así como la necesidad de ahondar en este tipo de temas y conceptos. El panorama global sobre estas tecnologías sigue



siendo muy prometedor y las cifras que presentan año tras año las organizaciones de este sector así lo demuestran.

- El periodo de análisis del estado del arte y de investigación de los modelos de propagación y métodos de predicción considerado por cualquier investigador o estudiante que desee trabajar en estos temas debe ser más extenso, considerando el amplio horizonte existente y la complejidad en la consecución de alguna información y el entendimiento de algunos modelos complejos. Si este periodo de tiempo es mas extenso se puede garantizar una mayor facilidad en alcanzar los resultados esperados.
- La selección de los sistemas de información geográfica, su manejo, la consecución de la cartografía y todos estos conceptos es recomendable afrontarlo de una manera interdisciplinaria pero a nivel de desarrollo del proyecto y no de consultoría, pues esto acortaría el tiempo necesario para entender estos conceptos y la buena distribución de las tareas según las fortalezas temáticas. Sería interesante retomar este proyecto acompañado de los estudiantes de geografía de la universidad del cauca como proyecto interdisciplinario.
- Es importante garantizar la existencia de los mapas de terreno digital del escenario a analizar, lo que facilita la elaboración de los cálculos sí como su acercamiento a datos reales. Estos mapas no son sencillos de conseguir lo que dificulta el proceso de análisis y elaboración de la aplicación.
- El alcance del lenguaje de programación AVENUE es limitado, y se hace de obligatorio manejo debido a la versión de ARCVIEW utilizada para el desarrollo de este proyecto (3.2). Las nuevas versiones de ARCVIEW manejan visual Basic lo que facilitaría mucho más la elaboración de desarrollos e implementaciones. Sería recomendable explorar la elaboración de este tipo de proyectos sobre lenguajes de programación libres o de masiva utilización, caso en el cual se recomienda de nuevo la interdisciplinariedad con estudiantes de ingeniería de sistemas o estudiantes con éste énfasis.



## BIBLIOGRAFIA

<http://100cia.com/enciclopedia/>

<http://arcscripts.esri.com/>

AWE COMMUNICATIONS GmbH. WinProp. Documentation. Propagation Models, background information. Germany. Version 5.43. 2002

BELLIS, Mary. Selling The Cell Phone: Part 1: History of Cellular Phones.

<http://inventors.about.com/library/weekly/aa070899.htm>

ESRI Press. Getting to Know Arcview Gis: the geographic information system (GIS) for everyone. ESRI, Inc. United States of America. 3th Edition. 1999. ISBN: 1879102463.

<http://es.wikipedia.org/>

FARLEY, Tom. Switching and Transmission.

<http://www.privateline.com/Switching/packet.html>

FIGUEROA de la CRUZ, Mario M. Planificación y evolución de redes de telefonía celular. 2006. <http://www.celularplanning.8m.net/index.html>

Foro de Usuarios de Sistemas de Información Geográfica ( GIS - SIG ) y Teledetección.

[http://foro.gabrielortiz.com/search.asp?FORUM\\_ID=1](http://foro.gabrielortiz.com/search.asp?FORUM_ID=1)

GUERRERO OJEDA, Luís Gerardo. Sistema GSM. (Global System for Mobile Communications). [http://www.portalgsm.com/documentacion\\_extendida/98\\_0\\_17\\_0\\_C24](http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/98_0_17_0_C24)

HARTE, Lawrence y BOWLER, Dave. Introduction to Mobile Telephone System: 1G, 2G, 2.5G and 3G Technologies and Services. ALTHOS Publishing. 2004.

HUURDEMAN, Anton. The Worldwide History of Telecommunications. New Jersey. Wiley-Interscience. 2003. ISBN: 0471205052

INFORMATION TECHNOLOGY SERVICE. Programming in ArcView 3.x GIS using Avenue. Guide 94, Version 1.4. University of Durham. 2005

INSTITUTO DE DESARROLLO RURAL, IDR. Curso Introducción a ARCVIEW 3.2. Ecoatlas. Mendoza, Argentina.

INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM. Cellular Communications: 1. Mobile Communications Principles. [http://www.iec.org/online/tutorials/cell\\_comm/topic03.html](http://www.iec.org/online/tutorials/cell_comm/topic03.html)



KORHONEN, Juha. Introduction to 3G Mobile Communications. 2 Ed. London. Artech House, 2003. ISBN: 1580535070.

LÓPEZ ALONSO, Luís Alberto. Implementación y simulación del procesamiento de la señal de voz en la interfaz de radio del sistema de telefonía móvil GSM, Universidad de Granada. 1999. <http://ceres.ugr.es/~alumnos/alonso/index.html>

MADEJ, Ed. Cartographic Design Using ArcView GIS. Thomson Delmar Learning. 2000. ISBN: 1566901871

MARE, Renzo. AMPS Advance Mobile Phone Service. Tecnologías de Banda Angosta, Área de Comunicaciones Eléctricas, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, 2003.  
<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/AMPS%20003.doc>

MARTINEZ, Evelio. Evolución de la tecnología celular. Revista NET, 2001.

MARTINEZ RODRIGUEZ, Judith y CRUZ MENDOZA, Oscar. La generación inalámbrica en la telefonía. 2005. <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2005/abril/telefoniam.htm>

MEDINA NIETO, Guadalupe; IBARRA MANZANO, Oscar y ROMERO VERA, Francisco. Telefonía Celular digital. Ingenierías, 2001. Vol IV, No 11.  
[http://ingenierias.uanl.mx/11/pdf/11\\_Guadalupe\\_Medina\\_et\\_al\\_Telefonia.pdf](http://ingenierias.uanl.mx/11/pdf/11_Guadalupe_Medina_et_al_Telefonia.pdf)

[http://mx.groups.yahoo.com/group/arcview\\_hispanoamerica/](http://mx.groups.yahoo.com/group/arcview_hispanoamerica/)

ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS, Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, Comité Consultivo Permanente I: Normalización de Telecomunicaciones. Documento Coordinado de Normas Número 5: Red de Núcleo Desarrollada de ANSI-41 con CDMA 2000. Washington, 2003.  
[http://www.citel.oas.org/sp/ccp1-tel/docs/NR5\\_E.pdf](http://www.citel.oas.org/sp/ccp1-tel/docs/NR5_E.pdf)

PEÑA LLOPIS, Juan. Sistemas de Información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Editorial Club Universitario. Alicante, España. 2004. ISBN: 8484544931.

<http://recursos.gabrielortiz.com>

RAZAVI, Amir H. ArcView GIS. Developer's Guide. Programming with Avenue. Thomson Delmar Learning. 4th Edition. 2002. ISBN: 076682800X.

SCOURIAS, Jhon. Overview of the Global System for Mobile Communications: GSM (Known in America as PCS). <http://www.privateline.com/PCS/GSM0.html>

SIRIT M., David L. Módem inalámbricos para CDPD. Venezuela, 1999.  
<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No7/David%20Sirit%5CM%C3%B3dem%20inal%C3%A1mbricos%20CDPD.htm>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO. Tecnologías de banda angosta: AMPS - Advance Mobile Phone Service. 2003.



<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Tecnologias%20de%20banda%20angosta/AMPS%20003.doc>

VERA, Arturo. Sistemas Celulares de Tercera Generación. Venezuela.

<http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml>

<http://www.agocg.ac.uk/train/arcview/unit2kk.htm>

<http://www.canal-ar.com.ar/binario/Notas/NotaMuestra.asp?Id=39>

[http://www.di.ujaen.es/~mcdiaz/docencia/cur02\\_03/infsoc/Resumen\\_telefonía\\_movil.doc](http://www.di.ujaen.es/~mcdiaz/docencia/cur02_03/infsoc/Resumen_telefonía_movil.doc)

<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/TL03204M.pdf>

<http://www.esri.com/software/arcview/>

<http://www.esri-es.com/>

<http://www.etsimo.uniovi.es/%7Eefeli/CursoMDT/CursoMDT.html>

<http://www.geocities.com/txmetsb/celular-principales-nodos.htm>

[http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que\\_2.html](http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que_2.html)

<http://www.glosarium.com/term/704,14,xhtml>

[http://www.gsmSpain.com/info\\_tecnica/egprs/diferencias.php](http://www.gsmSpain.com/info_tecnica/egprs/diferencias.php)

<http://www.gsmworld.com>

<http://www.laventanita.net/Noticia.asp?IdN=117>

<http://www.mobitex.org>

<http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml>

[http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract\\_6/handover.htm](http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_6/handover.htm)

[http://www.usando.info/main\\_file.php/us\\_dicc/8097/](http://www.usando.info/main_file.php/us_dicc/8097/)

<http://www.yucatan.com.mx/especiales/celular/3g.asp>