



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**  
**Carrera de Ingeniería Electrónica**

**TRABAJO MONOGRAFICO**

**Estudio de Radiopropagación para la Extensión de Servicios de Cobertura en la  
Comunidad La Calzada, Departamento de Granada**

**Autores:**

**Br. Crisstham Mariana García Olivera**

**Br. Rafael Enrique Salgado Bonilla**

**Tutor:**

**Ing. Enrique Hernández García**

***Managua, Nicaragua***  
***Noviembre de 2013***



## ÍNDICE

|  | Pág.       |
|--|------------|
| <b>INTRODUCCION</b>                                      | <b>I</b>   |
| <b>OBJETIVOS</b>   | <b>III</b> |
| <b>JUSTIFICACION</b>                                     | <b>IV</b>  |
| <b>ACRONIMOS</b>   | <b>V</b>   |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 1: COMUNICACIONES MOVILES</b>                |            |
| 1.1 Radiocomunicaciones Móviles                          | 1          |
| 1.2 Canales en Comunicaciones Móviles                    | 4          |
| 1.3 Calidad y Cobertura en Comunicaciones Móviles        | 5          |
| 1.4 Mecanismos de Radiopropagación                       | 7          |
| 1.5 Estado del Arte en Comunicaciones Móviles            | 17         |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 2: HERRAMIENTA DE PLANIFICACION Y DISEÑO</b> | <b>23</b>  |
| 2.1 Introducción a Atoll                                 | 23         |
| 2.2 Componentes de Atoll                                 | 24         |
| 2.3 Simulación con Atoll                                 | 31         |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 3: SIMULACION DE RADIOPROPAGACION</b>        | <b>39</b>  |
| 3.1 Entorno del Proyecto                                 | 39         |
| 3.2 Plots Simulaciones Área Respecto al Sitio            | 41         |
| 3.3 Plots Simulaciones en el Sitio                       | 45         |
| <br>   |            |
| <b>CONCLUSIONES</b>                                      | <b>52</b>  |
| <br>   |            |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                      | <b>54</b>  |



## **INTRODUCCION**

La tecnología y los sistemas de comunicación han venido desarrollándose desde hace 130 años para suplir la necesidad de transmitir información a distancias, la cual se limitaba a la voz.

Los sistemas de difusión basados en uso de señales radioeléctricas empezaron a generalizarse en las décadas de los años 30 y 40, con el desarrollo de las redes de radio celular que fueron proyectadas para proporcionar un servicio, donde los sonidos se convierten en señales electromagnéticas que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas nuevamente en mensajes a través de antenas repetidoras o vía satélite. Estas redes se conectaban a la red pública telefónica conmutada a modo de interconexión de trunking (llamada interurbana).

Los sistemas de comunicaciones personales se basan en radiotelefonía celular, las comunicaciones móviles en Nicaragua han experimentado un crecimiento tecnológico; lo que permitió un cambio de tecnología analógica a una digital, evolucionando a GSM, tecnología introducida al país a finales del 2002 por las compañías telefónicas móviles celulares; la infraestructura básica de esta red es similar a cualquier otra red celular.

Desde el comienzo de las comunicaciones móviles en Nicaragua a la fecha, se ha experimentado un crecimiento continuo; dada la necesidad integral del desarrollo de las comunicaciones, la Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones (ENITEL), se concentraba en la telefonía básica, consecutivamente permitió la introducción de la telefonía móvil de primera generación lo cual facilitó el servicio, posteriormente comenzó a utilizarse la tecnología GSM en frecuencias 850MHz y 1900MHz.

Dadas las irregularidades geográficas en algunas zonas del país, la señal experimenta falta de cobertura por lo cual se requiere mejorar la comunicación en dichos lugares; al realizar este diseño fue necesario inspeccionar la comunidad y su accesibilidad,

teniendo en cuenta aspectos como: características, tipos de frecuencias, arquitectura de la tecnología, en este caso tecnología GSM.

Esto con el fin de brindar cobertura en la zona donde la señal de comunicación es deficiente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Realizar el estudio de Radio propagación móvil para planificar la extensión de servicios de telecomunicaciones en la Comunidad La Calzada del Departamento de Granada.

### **Objetivos Específicos**

1. Realizar la planificación de Radiopropagación, en base a la definición de los parámetros de planeación de cobertura en el área de interés.
2. Identificar la ubicación más adecuada para la instalación de las estaciones base que brindarán cobertura a la comunidad objeto de estudio respecto a sus radios bases vecinas.
3. Desarrollar las simulaciones correspondientes para este tipo de diseño utilizando la herramienta profesional de optimización Atoll.

## **JUSTIFICACION**

Teniendo en cuenta el desarrollo de los servicios de telecomunicaciones móviles a nivel mundial y como ha venido influyendo en el progreso económico, social, cultural, político, entre otros ámbitos; tiene como consecuencia la necesidad de extender la cobertura en algunas zonas donde aún se carecen del servicio de comunicaciones móviles.

El incremento de la población tiene como resultado una mayor necesidad de una comunicación y una mejor señal; como una posible solución planteamos la instalación de comunicación móvil con tecnología GSM, para ello es necesario la realización de un Estudio Técnico de Radio propagación.

Como es el caso de la Comunidad La Calzada del Departamento de Granada que escasea de la comunicación inalámbrica, siendo esta más accesible a la población en general y a su vez ayudaría no solo mantener, sino mejorar la comunicación haciéndola más fluida y práctica.

Con la elaboración de este estudio obtendremos como resultado una idea de la necesidad de este servicio por parte de los habitantes de la comunidad, posible alcance que se tendría en la zona a través del análisis de los diferentes parámetros a tomar en cuenta y que inciden en una correcta comunicación; así mismo con la realización de simulaciones se conseguiría una noción de los resultados a alcanzar.

Este proyecto será de gran utilidad no solo a sus habitantes de esa ciudad, sino a los estudiantes de los últimos años de la carrera de electrónica o afines, porque gozarán de acceso a un material de referencia basado en un estudio real con todos los requerimientos técnicos ingenieriles que el mismo implica, también todos aquellos estudiantes que ya han culminado sus estudios de electrónica, que deseen disponer de un manual de referencia conciso en términos de estudios de Radio propagación para servicios móviles de comunicaciones.

## ACRÓNIMOS

### A

|                |  |
|----------------|--|
| <b>ACC:</b>    | Access Control Class                   |
| <b>ACCMIN:</b> | Access Control Class Mínimun           |
| <b>AGCH:</b>   | Access Grant Channel                   |
| <b>AMPS:</b>   | Advanced Mobile Phone System (USA)     |
| <b>ANT:</b>    | Antenna Designation                    |
| <b>ARFCN:</b>  | Absolute Radiofrequency Channel Number |
| <b>AVC:</b>    | Antena Vertical Corta                  |
| <b>AUC:</b>    | Authentication Centre                  |

### B

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| <b>BCH:</b>    | Broadcast Channel                |
| <b>BCCH:</b>   | Broadcast Control Channel        |
| <b>BCCHNO:</b> | Broadcast Control Channel Number |
| <b>BER:</b>    | Bit Error Rate                   |
| <b>BLER:</b>   | Block Error Rate                 |
| <b>BS:</b>     | Base Station                     |
| <b>BSC:</b>    | Base Station Controller          |
| <b>BSR:</b>    | Base Station Repeater            |
| <b>BSS:</b>    | Base Station Subsystem           |
| <b>BSPWR:</b>  | Base Station Power.              |
| <b>BTS:</b>    | Base Station Transmitter         |

### C

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| <b>CBCH:</b> | Cell Broadcast Channel        |
| <b>CCH:</b>  | Control Channel               |
| <b>CCCH:</b> | Common Control Channel        |
| <b>CDMA:</b> | Code Division Multiple Access |
| <b>CDG:</b>  | CDMA Development Group        |
| <b>CGI:</b>  | Cell Global Identify          |
| <b>CI:</b>   | Cell Identity                 |
| <b>CQI:</b>  | Channel Quality Indicator     |
| <b>CS:</b>   | Cell Station                  |
| <b>CSC:</b>  | Cell Station Controller       |
| <b>CSF:</b>  | Cell Station Function         |

**D**

|                  |  |
|------------------|--|
| <b>D/A:</b>      | Digital to Analog (converter)                |
| <b>DAC:</b>      | Digital- to- Analog Converter                |
| <b>D-AMPS</b>    | Digital AMPS (USA)                           |
| <b>DCA:</b>      | Dynamic Channel Allocation                   |
| <b>DCCH:</b>     | Dedicated Control Channel                    |
| <b>DCS:</b>      | Digital Cellular System                      |
| <b>DCS-1800:</b> | Digital Cellular System at 1800 MHZ          |
| <b>D-CT:</b>     | Digital Continuous Timesharing Transmission  |
| <b>D-CTT:</b>    | Digital Continuous Transmission              |
| <b>DECT</b>      | Digital Enhanced Cordless Telecommunications |
| <b>DL:</b>       | Downlink                                     |
| <b>Dm:</b>       | Signaling Channel                            |
| <b>DSN:</b>      | Digital Switching Network                    |
| <b>DTMF:</b>     | Dual Tone Multi Frequency                    |
| <b>DTX:</b>      | Discontinuous Transmission.                  |

**E**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>E:</b>      | Erlang.   |
| <b>ECR900:</b> | European Cellular Radio Consortium 900.         |
| <b>EDGE:</b>   | Enhanced Data Rates for GSM Evolution.          |
| <b>EGPRS:</b>  | Enhanced GPRS.                                  |
| <b>EIR:</b>    | Equipment Identity Register.                    |
| <b>ERMES:</b>  | European Radio Messagerie System.               |
| <b>E-TDMA:</b> | Extended TDMA (USA).                            |
| <b>ETS:</b>    | European Telecommunications Standard.           |
| <b>ETSI:</b>   | European Telecommunications Standard Institute. |
| <b>ETX:</b>    | End of Transmission.                            |

**F**

|               |                                    |
|---------------|------------------------------------|
| <b>FACCH:</b> | Fast Associated Control Channel    |
| <b>FCCH:</b>  | Frequency Correction Channel       |
| <b>FDD:</b>   | Frequency Division Duplex          |
| <b>FDMA:</b>  | Frequency Division Multiple Access |
| <b>FER:</b>   | Frame Error Rate                   |
| <b>FVC:</b>   | Forward Voice Channel              |

**G**

|               |  |
|---------------|--|
| <b>GERAN:</b> | GSM/ EDGE Radio Access Network         |
| <b>GMSC:</b>  | Gateway MSC                            |
| <b>GPRS:</b>  | General Packet Radio System            |
| <b>GPS:</b>   | Global Position System                 |
| <b>GSM:</b>   | Global System for Mobile Communication |

**H**

|               |                                   |
|---------------|-----------------------------------|
| <b>HLR:</b>   | Home Location Register            |
| <b>HON:</b>   | Handover Number                   |
| <b>HSDPA:</b> | High Speed Downlink Packet Access |
| <b>HSUPA:</b> | High Speed Uplink Packet Access   |
| <b>HSN:</b>   | Hopping Sequence Number           |

**I**

|                |  |
|----------------|--|
| <b>IMT:</b>    | International Mobile Telecommunications  |
| <b>IMSI:</b>   | International Mobile Subscriber Identity |
| <b>IS-95:</b>  | Interim Standart 95                      |
| <b>IS-136:</b> | Interim Standart 136                     |
| <b>ITU:</b>    | International Telecommunication Union    |

**J**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| <b>JDC:</b> | Japan Digital Cellular |
|-------------|------------------------|

**K**

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| <b>Kbps:</b> | Kilobits per second |
|--------------|---------------------|

**L**

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| <b>LAC:</b> | Location Area Code     |
| <b>LAI:</b> | Location Area Identity |
| <b>LF:</b>  | Low Frequency          |
| <b>LTE:</b> | Long Term Evolution    |

**M**

|               |   |
|---------------|---|
| <b>MAXTA:</b> | Maximum Time Advance                    |
| <b>Mbps:</b>  | Megabits per second                     |
| <b>MCC:</b>   | Mobile Country Code                     |
| <b>MMS:</b>   | Multimedia Messaging Service            |
| <b>MNC:</b>   | Mobile Network Code                     |
| <b>MS:</b>    | Mobile Station.                         |
| <b>MSC:</b>   | Mobile Switching Center.                |
| <b>MSIN:</b>  | Mobile Subscriber Identification Number |
| <b>MSRN:</b>  | Mobile Station Roaming Number           |

**N**

|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| <b>NDC:</b> | National Destination Code   |
| <b>NMC:</b> | Network Management Center   |
| <b>NSS:</b> | Network Switching Subsystem |

**O**

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| <b>OMC:</b> | Operation and Maintenance Center |
|-------------|----------------------------------|

**Q**

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| <b>QOS:</b> | Quality of Service |
|-------------|--------------------|

**P**

|              |   |
|--------------|---|
| <b>PACS:</b> | Personal Access Communications System (USA) |
| <b>PCN:</b>  | Personal Communication Network              |
| <b>PDC:</b>  | Personal Digital Cellular (Japan)           |
| <b>PCS:</b>  | Personal Communication Service              |
| <b>PaT:</b>  | Push and Talk                               |
| <b>PLMN:</b> | Public Land Mobile Network                  |
| <b>PMR:</b>  | Private Mobile Radio                        |
| <b>PSTN:</b> | Public Switched Telephone Network           |
| <b>PTN:</b>  | Private Telecommunication Network           |
| <b>PTT:</b>  | Push to Talk                                |

**R**

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| <b>RACH:</b>   | Random Access Channel               |
| <b>RAU:</b>    | Radio Access Unit                   |
| <b>RF:</b>     | Radio Frequency                     |
| <b>RSCP:</b>   | Received Signal Code Power          |
| <b>RSSI:</b>   | Received Signal Strength Indication |
| <b>RTMS:</b>   | Radio Telephone Mobile System       |
| <b>RX:</b>     | Receiver                            |
| <b>RXLEV:</b>  | Received Signal Level               |
| <b>RXQUAL:</b> | Received Signal Quality             |

**S**

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>SACCH:</b> | Slow Associated Control Channel |
| <b>SCH:</b>   | Signaling Channel               |
| <b>SCH:</b>   | Synchronization Channel         |
| <b>SMS:</b>   | Short Message Service           |
| <b>SNR:</b>   | Serial Number                   |
| <b>SNR:</b>   | Signal to Noise Ratio           |
| <b>STCH:</b>  | Stealing Channel                |

**T**

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| <b>TA:</b>    | Timing Advance                        |
| <b>TACS:</b>  | Total Access Communications System    |
| <b>TAF:</b>   | Terminal Adaptor Function             |
| <b>TDMA:</b>  | Time Division Multiple Access         |
| <b>TETRA:</b> | Trans European Trunking Radio         |
| <b>TMN:</b>   | Telecommunications Management Network |
| <b>TRX:</b>   | Transmitter Receiver (Transceiver)    |
| <b>TX:</b>    | Transmitter                           |

**U**

|               |  |
|---------------|--|
| <b>UIT:</b>   | Union Internacional de Telecomunicaciones  |
| <b>UL:</b>    | Uplink                                     |
| <b>UMTS:</b>  | Universal Mobile Telecommunications System |
| <b>UTRA:</b>  | Universal Terrestrial Radio Access (3GPP)  |
| <b>UTRA:</b>  | UMTS Terrestrial Radio Access (ETSI)       |
| <b>UTRAN:</b> | UMTS Terrestrial Radio Access Network      |

**V**

**VLR:** Visitor Location Register

**W**

**WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access

**WIMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access

**WIFI:** Wireless Fidelity

**WWRF** Wireless World Research Forum

## CAPÍTULO 1 COMUNICACIONES MOVILES

### 1.1 Radiocomunicaciones Móviles

A Cualquier enlace radial entre dos terminales, fijo o en movimiento se le conoce como comunicaciones móviles. Existen dos formas de comunicaciones móviles: inalámbrica y celular.

La Comunicación Celular tiene una red definida que incluye protocolos para establecer y despejar llamadas así como buscar unidades móviles dentro de aéreas geográficas definidas llamadas células que dan nombre a la tecnología.

Según el reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas; permiten el intercambio de información variada (voz, datos, fax, video).

La superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con la estación fija entre si se denomina zona de cobertura. Se diseñan de forma que puedan realizar enlaces desde cualquier.

Este sistema consta de:

- Estaciones fijas (FS)
- Estaciones móviles (MS)
- Equipos de control.
- Las estaciones fijas (FS)

Es una estación radioeléctrica no prevista para su utilización en movimiento.

#### Categorías

*Estación Base:* Es una radioeléctrica fija, se controla desde una unidad de control en un punto específico. Su característica primordial es ser fuentes y destinatarias de tráficos (información y señalización).

*Estación de Control:* Sus transmisiones son usadas para gobernar automáticamente el funcionamiento de otra estación de radio.

*Estaciones Repetidoras:* Retransmiten las señales recibidas; suelen ubicarse en lugares altos para ampliar la cobertura radioeléctrica, para rellenar zonas de sombra.

*Estaciones Móviles:* Estación radioeléctrica del servicio móvil prevista para su utilización en un vehículo.

*Equipos de Control:* Son dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones base.

Se les denomina enlace descendente (DL: Down link) al sentido de comunicación de estación base a móvil; la distancia de cobertura en ella se le conoce rango o alcance. El enlace ascendente (UL: Up link) sentido de comunicación de estación móvil a estación base; su distancia de cobertura se llama retro alcance.

Para la planificación y proyecto de los sistemas de radiocomunicaciones móviles se deben realizar cuatro actividades relacionadas con la propagación.

#### *Caracterización del Canal Móvil en Banda Estrecha*

Delimita la región cubierta por un transmisor (pérdida básica de propagación) y estudio de interferencia entre estaciones que reutilicen las mismas frecuencias.

La pérdida básica se evalúa así:

$$L_b = L_{bf} + L_{ex} + L_{ent}$$

donde

$L_{bf}$ : es la pérdida básica entre el transmisor y el receptor, en condiciones de espacio libre.

$L_{ex}$ : es la pérdida en exceso debida a los efectos del terreno entre el transmisor y el receptor.

$L_{ent}$ : es la pérdida debida a los efectos del entorno inmediato al receptor.

- \* Caracterización del canal móvil en la banda ancha.

Dado que el ancho de banda es grande, es preciso analizar y modelar los efectos de la propagación multitrayecto, muy notables en zonas montañosas, áreas urbanas de gran densidad de edificación, etc. En estas zonas se produce una distorsión en la señal recibida que afecta notablemente la calidad de funcionamiento en cuanto a tasa de errores (BER).

- \* Desarrollo de modelos de simulación.

La zona de cobertura correspondiente a una calidad BER depende de la pérdida básica de propagación, así como características de multitrayecto. Con estos modelos se procura estudiar cómo influyen estas en la BER de un enlace móvil y efectos de medidas correctivas aplicables (recepción por diversidad, codificación de canal). Hay modelos de simulación lógicos (software) y físicos (hardware).<sup>2</sup>

- \* Realización de medidas radioeléctricas.

Las mediciones son útiles para resolver situaciones en la cobertura, detectar interferencias y perfeccionar métodos de predicción de cobertura. Según el tipo de parámetros que se quiere determinar las medidas pueden ser de banda estrecha y de banda ancha.

Las BS de un sistema celular están conectadas MSC, son centrales de conmutación especializadas para ejecutar las funciones necesarias para el funcionamiento sistema. La conexión BS – MSC, se realiza mediante enlaces telecomunicaciones.

El funcionamiento de un sistema celular requiere las siguientes disponibilidades:

- ♦ Localización del móvil y actualización de la misma.
- ♦ Conexión con el móvil dondequiera que esté (radio búsqueda, paging)
- ♦ Sintonización automática de canales por parte del móvil.
- ♦ Transferencia o conmutación automática de una llamada en curso cuando el móvil pasa de una célula a otra (Handover).

El sistema de señalización avanzado es aplicado sobre canales de control a través de protocolos específicos, seguros y rápidos. El control es la actividad de mayor complejidad tanto en equipo físico como de soporte lógico. Donde todo abonado móvil está inscrito en un HLR; que es una base de datos que contiene la información del abonado.

Cuando el abonado conecta su MS explora los canales de control de las BS y sintoniza el canal en el cual reciba mayor intensidad de señal, retornando por ese canal su identificación, la que llega a través del BS a una MSC en cuyo VLR se inscribe esta MS como visitante. Esta información pasa al HLR.

El traspaso puede efectuarse entre sectores de una misma célula y células pertenecientes a una misma MSC o MSC diferentes y comporta un volumen de señalización importante.

La estructura de un sistema de radiocomunicación móvil tiene en cuenta los siguientes procesos para constituir un sistema:

- 1) Procesamiento en Transmisión
  - Digitalización de voz de banda estrecha.
  - Codificación de canal.
  - Formalización para multiacceso.
  - Modulación digital óptima, con mínima anchura de banda.
  - Transmisión.

- 2) Procesamiento en recepción
- Recepción con amplificación de bajo ruido.
  - Eliminación de diversidad.
  - Demodulación.
  - Decodificación con corrección de errores.
  - Desformatización.
  - Conversión D/A.

## 1.2 Canales en Comunicaciones Móviles

El uso de un canal está vinculado al tipo de operación.

En comunicaciones móviles pueden ser:

- Simplex
- Simplex a dos frecuencias
- Semiduplex
- Dúplex (Full dúplex)

### 1.2.1.1 Simplex

Utilizan la misma frecuencia  $F_1$  para cada sentido de transmisión. La transmisión y la recepción se efectúan en forma secuencial, en un sentido. Las transmisiones son del tipo línea compartida (party-line), cualquier equipo puede oír y hablar con cualquier otro dentro de la zona de cobertura mutua. Utilizan bien el espectro, una sola frecuencia soporta ambos sentidos de transmisión.

### 1.2.1.2 Simplex a dos frecuencias

Tienen separación transmisión – recepción necesaria para evitar los problemas de bloqueo puede hacerse en frecuencia, en lugar de espacio. Se establecen canales a dos frecuencias  $f_1$  y  $f_2$ , separadas entre si de 4 a 5 MHz. No pueden hablar entre si y solo pueden hacerlo con la base. Esto produce muchas tentativas de llamadas infructuosas por parte de los móviles para establecer una comunicación.

### 1.2.1.3 Semiduplex

Son los circuitos que son simplex en un extremo y dúplex en otro. Para lograr comunicación de todos con todos en los canales simplex a dos frecuencias, se configura la estación base de forma que retransmita las señales que recibe (procedimiento denominado *talk-through*, TT).

#### 1.2.1.4 Dúplex

En estos sistemas la estación base transmite en  $F1$  y recibe en  $F2$ , la móvil transmite en  $F2$  y recibe en  $F1$ . La estación base como las móviles disponen de duplexores para permitir la transmisión y recepción simultáneas. Se emplean en los sistemas telefonía móvil automática. La separación de frecuencias en estos sistemas es igual a 45 MHz.

#### 1.2.2 Variabilidad de la propagación

Esto es por consecuencia del carácter zonal de cobertura y desplazamiento de los terminales, traducida en variaciones del nivel de señal con emplazamientos y el tiempo. Para una potencia transmitida fija, la potencia recibida es una variable aleatoria. La pérdida básica de propagación varía, con la distancia entre el transmisor y el receptor.

#### 1.2.3 Propagación multitrayecto

Es el mecanismo básico para la llegada de la energía radioeléctrica a terminales situados en entornos rodeados de obstrucciones. Esto permite obtener cobertura en puntos recónditos, existen inconvenientes. Llegando al receptor numerosas componentes o ecos a través de diferentes caminos con distintas interacciones con los obstáculos interpuestos.

### 1.3 Calidad y Cobertura en Comunicaciones Móviles.

#### Exigencias de Calidad

##### 1.3.1 Calidad de Cobertura

- Extensión corresponde al tamaño de la zona de cobertura.
- Escenario de Cobertura es el entorno que se desea la cobertura.
- Grado de Cobertura es la que especifica el porcentaje (perimetral y zonal) en que se debe tener la comunicación.

##### 1.3.1.1 *Calidad de terminal:*

Muestra la simetría del enlace bidireccional. Entre la estación base a la terminal móvil y viceversa (en equivalencia).

##### 1.3.1.2 *Calidad de disponibilidad:*

Especifica la facilidad de acceso a un canal radio por parte del terminal. Dependiendo de la calidad de cobertura y tráfico de canales disponibles.

##### 1.3.1.3 *Calidad de Fiabilidad:*

Refleja el porcentaje admisible de interrupciones de los enlaces o caídas de llamadas por averías de los equipos.

#### 1.3.1.4 Calidad de Fidelidad:

Indica el grado de inteligibilidad y claridad de la señal recibida si es de voz o la tasa de errores si la señal es de datos. En los sistemas digitales la fidelidad se especifica mediante la tasa de errores en los bits: BER.

#### 1.3.1.5 Calidad de Tráfico

Se expresa mediante la probabilidad de congestión  $p$ . Incide en el dimensionamiento de canales del sistema.

### 1.3.2 Cobertura en Comunicaciones móviles

La distancia de cobertura es del orden de la distancia de visión óptica, cuando inicialmente se prueban posibles emplazamientos para estaciones de bases o repetidoras. Las características que muestra la propagación de una onda (de precipitaciones, absorción de gases y vapores) y de la frecuencia y polarización de las ondas.

Deben destacarse tres aspectos fundamentales:

1. Cobertura zonal, es necesario realizar predicciones de propagación entre el transmisor y una elevada cantidad de puntos del área de cobertura.
2. Sin número de trayectos entre el transmisor y un receptor ubicados en una zona determinada, como resultados de la influencia del terreno y obstáculos interpuestos.
3. Variabilidad de los trayectos, como consecuencia del desplazamiento de los terminales móviles, el cual estima una variación con la distancia y el tiempo de las condiciones de propagación, afectando el nivel de la señal recibida.

- La cobertura depende de
  - los equipos: configurables
  - las condiciones de propagación.
- Dos vertientes
  - Cálculo de una cobertura para una configuración dada
  - Cálculo de una configuración para alcanzar una cobertura
- Los valores de campo que se utilizan son valores medianos en sentido estadístico
- En los sistemas celulares tenemos además del ruido la interferencia.

- Una opción a la hora del diseño es dividir el objetivo global de calidad entre
  - cálculo de cobertura=potencia → Ruido C/N
  - cálculo de la distancia de reutilización → Interferencia C/I

## 1.4 Mecanismo de Radiopropagación

### 1.4.1 Mecanismos de Propagación de las Ondas de Radio

Estas ondas pueden viajar en el vacío a la velocidad de la luz y aproximadamente a un 95 % de esta velocidad en otros medios; estas dan lugar a las trayectorias adicionales de propagación a la dirección óptica de la trayectoria entre el satélite y el receptor.

Son: **Reflexión, Difracción, Refracción, Dispersión, Zona de Fresnel y Difracción de Fresnel**

#### 1. Reflexión

Cuando una señal que se propaga golpea un objeto con dimensiones mucho mayores que la longitud de onda de la señal, con diferentes propiedades eléctricas, un porcentaje de la señal es transmitido dentro del objeto y otro reflejado.

$$\theta_i = \theta_r$$

*Ley de Snell*

El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión

Las de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, sus índices de refracción son diferentes

#### 2. Difracción

Se refiere a la curva que realizan las señales alrededor de un objeto, lo que resulta en un cambio de dirección; esta curva es mayor dependiendo del grosor del objeto y si es menor o aumenta la longitud de onda.

En otras palabras es el esparcimiento de las ondas en los límites de una superficie.

Este fenómeno es de gran utilidad para las zonas de sombra de señal que pueden ser producidas por grandes edificios o montañas.

#### 3. Refracción

Cambio en la dirección de propagación de una onda y velocidad cuando pasa de un medio a otro.

En comunicaciones se produce cuando sufren una desviación en su trayectoria debido a diferencias de densidades. La desviación de la trayectoria es proporcional al índice de refractividad:

$$IR = \frac{V_p}{V_m}$$

$IR$  = Índice de refractividad.

$V_p$  = Velocidad de propagación en el espacio libre.

$V_m$  = Velocidad de propagación en el medio.

La refracción es parecida a la difracción en cuanto a que hay un cambio de dirección, pero la refracción es por la transición de un medio a otro y la difracción es ocasionada por la presencia de un obstáculo.

#### 4. Dispersión

Cuando una señal de radio golpea contra una superficie rugosa o áspera y la energía reflejada es difundida o reflejada en varias direcciones.

La señal generada depende de la comparación del tamaño de la longitud de onda de la señal y el diámetro.

#### 5. Zona de Fresnel

Es una zona de despeje adicional que se utiliza para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una viga (antena) de radio.

Derivada de la teoría de onda electromagnética respecto a la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Resulta en reflexión y cambios de fase al pasar sobre un espectáculo; un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibida.

Determinando la línea de vista RF, línea recta entre la antena transmisora y receptora. El radio  $r$  se puede calcular:

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}} \qquad r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

$r$  = radio en metros (m).

$d$  = distancia en kilómetros (km).

$f$  = frecuencia transmitida en megahercios (MHz).

La fórmula genérica de *cálculo* de las zonas de Fresnel es:

$rn$  = radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel.

$d1$  = distancia desde el transmisor al objeto en km.

$d2$  = distancia desde el objeto al receptor en km.

$d$  = distancia total del enlace en km.  $f$  = frecuencia en MHz.

## 6. Difracción de Fresnel

La condición de validez es algo débil y permite que los parámetros de dimensión del obstáculo tengan valores comparables: la apertura es pequeña comparada con el camino óptico. De esta forma es interesante investigar en el *comportamiento* del *campo eléctrico* sólo en una pequeña porción de área cercana al origen de la fuente luminosa, es decir para valores de  $x$  e  $y$  mucho más pequeños que  $z$ , en este caso se puede asumir que  $\theta \approx 0$ , esto viene a significar que:  $\cos \theta \approx 1$ .

De esta forma, al igual que la difracción de Fraunhofer, la difracción de Fresnel ocurre debido a la curvatura del frente de onda. Para la difracción Fresnel el campo eléctrico en un punto ubicado en  $(x,y,z)$  está dado por:

$$E(x, y, z) = -\frac{i}{\lambda} \frac{e^{ikz}}{z} \iint E(x', y', 0) e^{\frac{ik}{2z} [(x-x')^2 + (y-y')^2]} dx' dy'$$

Esta es la integral de difracción de Fresnel; y viene a significar que si la aproximación de Fresnel es válida, el campo propagado es una onda esférica, originada en la apertura y moviéndose a lo largo del eje  $Z$ . La integral modula la amplitud y la fase de una onda esférica. La solución analítica de esta expresión es sólo posible en casos muy raros.

### 1.4.2 PROPAGACIÓN TERRESTRE

#### ➤ Ondas aéreas

Parten de la antena del emisor y llegan hasta la antena del receptor a través del aire sin llegar a la ionosfera. Estas puede ser: Ondas directas, reflejadas y otras influenciadas por ciertos efectos como son por refracción troposférica o por difracción.

#### ➤ Onda directa

Tocar terreno ni ionosfera. La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos (lluvia, nieve, etc.) Es la típica de frecuencias superiores a 30MHz (V-U-SHF).

#### ➤ Onda reflejada

Llega al receptor después de reflejarse en la tierra (o mar). Sufre gran atenuación por la propia *naturaleza* del terreno y depende mucho de éste. En ocasiones favorece el establecimiento de *la comunicación* a largas distancias.

➤ **Refracción Troposférica**

Cuando una capa de aire frío se encuentra entre dos capas de aire caliente, puede ocurrir que la onda de refracte, esto es, que modifique su trayectoria.

➤ **Difracción (filo de la navaja)**

Cuando entre el emisor y el receptor se encuentra una montaña o cordillera, puede ocurrir que las ondas modifiquen su trayectoria debido a la naturaleza del terreno (*temperatura*, humedad, etc.) consiguiéndose incluso, niveles de ganancia, en lugar de atenuaciones.

➤ **Ondas de radio u ondas hertzianas.**

Las ondas de radio u ondas Hertzianas son ondas electromagnéticas. Como una onda de radio es una vibración, al cabo de un período, la onda habrá recorrido una distancia llamada longitud de onda. La longitud de onda es una característica esencial en el estudio de la propagación; para una frecuencia dada depende de la velocidad de propagación de la onda.

### 1.4.3 Métodos Empíricos de Predicción para Propagación

Usualmente los modelos de predicción se clasifican en empíricos y estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación (semi - empíricos).

Los modelos o métodos empíricos se basan en mediciones, los teóricos en principios fundamentales de fenómenos de propagación de ondas de radio. Estos predicen la pérdida por trayectoria que una señal RF pueda tener entre una estación base y un receptor móvil o fijo. Proporcionan una estimación rápida de la pérdida básica de propagación, para conocer la viabilidad de los proyectos en determinados sectores. En los modelos de propagación se toman en cuenta las siguientes especificaciones:

El tipo de terreno, Características del ambiente de propagación, Características de la atmosfera. Propiedades eléctricas del suelo. Tipo de material de construcciones, etc.

Son de utilización sencilla y rápida al momento de estimar la pérdida en cualquier punto en torno a un transmisor. La media cuadrática del error entre el valor estimado por uno de estos métodos y el valor medido puede ser del orden de 10 a 14 dB.

Los métodos más comunes y recomendados por el UIT-R: Lee, Okumura-Hata, Ikegami, Walfish-Bertoni, Rec. UIT-R P.1546, COST - 231, Propagación en un medio heterogéneo y Sakagami- Kuboi.

### 1.4.3.1. Método de Lee

Basado en la fórmula de tierra plana y mediciones experimentales, proporciona la potencia recibida en dBm para dos tipos de entornos: suburbano y urbano.

Como referencia se toma los siguientes parámetros y valores:

- Altura de la antena de transmisión :  $h_t = 100 \text{ pies} \rightarrow 30.5 \text{ m}$
- Altura de la antena de recepción :  $h_r = 10 \text{ pies} \rightarrow 3 \text{ m}$
- Potencia de transmisión  $p_t = 10 \text{ w} \rightarrow 40 \text{ dBm}$
- Ganancia de antena de transmisión  $g_{td} = 4 \rightarrow 6 \text{ dBm}$
- Ganancia de antena de recepción  $g_{rd} = 1 \rightarrow 0 \text{ dBm}$
- Frecuencia  $f = 900 \text{ MHz}$

### 1.4.3.2 Método de Okumura- Hata

En radiocomunicaciones móviles, Okumura proporciona valores de la intensidad de campo para medio urbano, diferentes alturas efectivas de antenas, bandas de 150,450 y 900 MHz y una PRA DE 1 KW. Método subjetivo, suministra resultados bastante acordes con las mediciones: efectos de ondulación de terreno ( $h$ ), pendiente del terreno, presencia de obstáculos significativos, heterogeneidad del terreno (trayectos mixtos tierra/mar), altura de antena receptora, potencia radiada aparente y orientación de calles y densidad de edificación, en zonas urbanas.

La necesidad de informatizar el método, condujo a Hata al desarrollo de expresiones numéricas para las curvas normalizadas de propagación de Okumura, incluyendo las correcciones más usuales en radiocomunicaciones móviles.

Mediante análisis de regresión múltiple Hata obtuvo expresiones que proporcionan la pérdida básica de propagación.  $L_b$ , para medios urbanos, suburbanos y rurales en terreno poco ondulado.

La altura efectiva de la antena transmisora es la altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel medio del terreno evaluado entre dos distancias de referencias  $d_1$  y  $d_2$ :

$$\begin{array}{lll}
 d_1 = d/4 & d_2 = d & 1 < d < 8 \text{ km.} \\
 d_1 = 3 & d_2 = d & d < 8 \leq 15 \text{ km.} \\
 d_1 = 3 & d_2 = 15 & d > 15 \text{ km.}
 \end{array}$$

El nivel medio del terreno:

$$h_m = \frac{1}{(d_2 - d_1)} \left\{ \sum_{i=k}^{i=h-1} \frac{(c_i + c_{i-1})}{2} (x_{i+1} - x_i) \right\}$$

Donde

$X_i$ : abscisas del perfil (distancias)

$C_i$ : cotas respectivas

$X_k = d_1, X_h = d_2$  (distancias limites)

La altura efectiva de la antena, es:

$$h_t = h_o + c_o - h_m$$

Siendo:

$H_o$ : la altura sobre el suelo

$C_o$ : la cota del terreno en el pie del mástil de la antena.

Para el receptor en zona rural abierta, sin obstrucciones en su entorno inmediato, se tiene:

$$L_{b_r} = L_b - 4,78 (\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94$$

La fórmula de Hata es válida para frecuencias inferiores a 1,500 MHz. Sin embargo para los sistemas de telefonía móvil que funcionan en las bandas superiores a 1,500 MHz Grupo COST 231 se ha propuesto una extensión de la formula Hata sobre la base de mediciones de señal.

Para la perdida básica de propagación:

$$L_b = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log h_t - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d + c_m$$

### 1.4.3.3 Método Ikegami

Calcula la potencia media en zonas urbanas, las cuales concuerdan de manera cercana con resultados experimentales y predicciones empíricas convencionales. Basado en la teoría de rayos y ópticas geométricas supone una estructura ideal de la ciudad con alturas uniformes de edificios. Teniendo en cuenta orientación de calles, alturas de estación móvil, frecuencia, altura de estación base y distancia.

Los modelos de multitrayecto se dividen en 2 grupos:

Rayos Principales y secundarios (los rayos principales tienen mucha mayor amplitud que los secundarios); las características de propagación se podrán determinar considerando estos componentes. Los rayos que llegan al receptor con una sola refracción y una reflexión son más importantes en su mayoría que los que tienen múltiples (por la atenuación). La intensidad de los rayos principales se puede calcular si se dispone del perfil del trayecto.

La pérdida básica de propagación en un punto situado a una distancia  $d$  (km) del transmisor:

$$L_b \text{ (dB)} = 26.65 + 30 \log f + 20 \log d - 10 \log (1 + 3/\rho^2) - 10 \log W + 20 \log (H - h_r) + \log (\sin \theta)$$

Donde  $H$ ,  $W$  y  $h_r$  están en metros, la frecuencia  $f$  en MHz y  $E$  en dBu.

$H$ : la altura del edificio en el que se produce la difracción.

$h_r$ : la altura de la antena receptora.

$W$ : la anchura de la calle donde está situado el receptor.

$\theta$ : Ángulo formado por el rayo incidente y la dirección de la calle.

$I_r$ : parámetro que depende del coeficiente de reflexión en la fachadas de los edificios, cuyos valores típicos son 2 y 3.2 para las bandas de VHF y UHF, respectivamente.

$d$ : distancia.

Proporciona buenos resultados de predicción cuando la altura de la antena es grande, en la propagación solo influyen edificios inmediatos al móvil. Si esto no se cumple por algún tipo de interacción de edificios situados entre el receptor y transmisor las estimaciones son positivas.

#### 1.4.3.4 Método de Walfish- Bertoni.

Tiene en cuenta la influencia de edificios que se interponen entre el transmisor y el móvil receptor. Evita el principal inconveniente del método Ikegami. Toma en cuenta que las ondas principales desde la antena de transmisión hasta el punto del tejado del edificio próximo al móvil tendrá una pérdida por difracción debido a la proximidad entre el rayo principal que alcanzan el reflector y los edificios existentes entre el transmisor y el receptor.

El valor de la pérdida básica de propagación  $L$  (dB):

$$L = 57,1 + A + \log f + 18 \log d - 18 \log H - 18 \log \left[ 1 - \frac{d^2}{17H} \right] \quad (3.8.19)$$

Dónde:

H: altura de la antena de transmisión sobre los edificios próximos.

d: distancia

La pérdida total por el modelo en espacio libre:

$$L = 89,55 + A + 21 \log f + 38 \log d - 18 \log H - 18 \log \left[ 1 - \frac{d^2}{17H} \right] \quad (3.8.21)$$

#### 1.4.3.5 Método de la Recomendación UIT-R P.1546

Se presenta en forma de curvas de propagación normalizadas para la predicción de valores de la intensidad del campo eléctrico en enlaces terrenales punto a zona, en la gama de frecuencias de 30 a 3000 MHz y para distancias de 1 a 1000 km.

La recomendación P.1546 proporciona familias de curvas estándar para un PRA de 1kW en frecuencias nominales de 100, 600 y 2000 MHz.

##### 1.4.3.5.1 Presentación de las Curvas

Las curvas se representan ordenadas el valor mediano de la intensidad de campo (dBu) y en abscisas la distancia (km), para diferentes valores de la altura representativa de los obstáculos alrededor del receptor (clutter), cuyo valor mínimo es 10 m.

#### 1.4.3.5.2 Utilización de las Curvas

Para trayectos en los que todos o parte de sus parámetros difieran de los que aparecen en las curvas es preciso realizar una serie de ajustes y correcciones.

1. Corrección por potencia de emisión

Si la potencia radiada aparente es P (dBkW), se suma este valor al obtenido en las curvas.

2. Calculo y corrección por altura de la antena transmisora

2.1 Calculo de la altura  $h_1$ .

2.2 Ajuste por altura  $h_1$ .

3. Interpolación – extrapolación en función de la frecuencia.

4. Corrección por altura de la antena de recepción.

5. Corrección para trayectos en medio urbano/ suburbano.

6. Corrección por despejamiento del receptor.

7. Corrección por porcentaje de ubicaciones.

#### 1.4.3.6 Método COST – 231

Método validado para enlaces en 900 y 1800 MHz, basado en los de Ikegami- Ioshida y Walfish – Bertoni; también ha sido propuesto para su inclusión en una Recomendación del UIT- R sobre datos de propagación necesarios para los servicios móviles. Aplicable en situaciones de propagación para las cuales el rayo directo entre el transmisor y el receptor esta obstruido por los edificios. Las pérdidas de propagación están determinadas por la dispersión y difracción en zonas cercanas o alrededores de los edificios cercanos al móvil.

La Pérdida básica de Propagación es:

$$L_b = L_{bf} + L_{rts} + L_{msd}$$

Donde:

$L_{bf}$ : pérdida en condiciones de espacio libre

$L_{rts}$ : pérdida debida a la difracción “tejado – calle” entre el tejado de los edificios y el móvil.

$L_{msd}$ : es una estimación de la “difracción multiobstáculo” que experimenta el rayo entre la antena transmisora y el edificio próximo al receptor.

### 1.4.3.7 Propagación en un medio heterogéneo

Para la predicción en el caso de un medio no homogéneo.

$$l_b(d) = k \cdot d^n$$

Se utiliza el modelo general de atenuación de la forma:

Donde:

$l_b$ : pérdida en unidades naturales;  $k$ : constante;  $d$ : distancia;  $n$ : parámetro que depende del medio.

### 1.4.3.8 Método de Sakagami – Kuboi (SK)

Desarrollado en Japón en entornos urbanos. Precisa información detallada del entorno del móvil, utiliza frecuencias de 900 y 1800 MHz.

La pérdida básica de propagación se expresa mediante:

$$L_b = 100 - 7,1 \log W + 0,023\phi + 1,4 \log h_s + \\ + 6,1 \log \langle H \rangle - \{24,37 - 3,7(H/h_{b0})^2\} \log h_b + \\ + (43,2 - 3,1 \log h_b) \log d + 20 \log f + \exp\{13(\log f - 3,23)\} \quad (3.8.30)$$

Donde:

$W$ : anchura de la calle donde está el móvil (5- 50m)

$\phi$ : ángulo entre la dirección móvil – base y el eje de la calle (0- 90°)

$h_s$ : altura de los edificios próximos al móvil (5 – 80m)

$\langle H \rangle$ : altura media de los edificios alrededor del punto de recepción

$h_b$ : altura de la antena de estación base respecto del punto de recepción (20 -100m)

$h_{bo}$ : altura de la antena de estación base sobre el suelo (m)

H: altura media de los edificios alrededor de la estación base ( $H \leq h_{bo}$ )

d: distancia estación base móvil (0.5 – 10 km)

f: frecuencia (450 – 2200MHz)

## 1.5 Estado del Arte en Comunicaciones Móviles

Los sistemas de comunicaciones móviles han ido evolucionando, esto es como resultado de las mejoras que han sido necesarias implementarse ya que han impactado enormemente las actividades que realizamos a diario.

En sus inicios las primeras redes móviles necesitaban un operador para conectar las llamadas a la red fija. Lo que limitaba la cobertura a sistemas uncelulares. Por los pocos espectros disponibles para este servicio (propósitos militares) su saturación fue rápida.

Desde la década de los 60's se comenzó a trabajar con el servicios de comunicaciones móviles, hasta el año 1969 se desarrolló el concepto de telefonía celular llamado STAC.

El sistema GSM tiene sus principales antecedentes de sistemas analógicos de telefonía celular en 1981. Este sistema fue implementado a partir de 1991 para superar las limitantes de los sistemas analógicos, esto lo realizaron basándose en el sistema TDMA.

En Nicaragua la apertura de la Telefonía móvil inició en 1992, cuando TELCOR otorgó un contrato de concesión a la empresa Telefonía Celular de Nicaragua S.A (NICACEL, S. A)

SERCOM PCS Y ENITEL operaban con tecnología GSM y telefónica Movistar con tecnología TDMA y CDMA ambas tecnologías no eran compatibles entre sí. Desde el 2003 a la fecha el servicio de telefonía celular que se ha consolidado como dominante en el mercado nacional está basado en tecnología GSM.

En 2008 Claro, introdujo los sus servicios de 3G basados en estándares de multimedios de ancho de banda móviles (UMTS/ HSDPA), que permitían transmisión de datos a alta velocidad.

Los avances en cobertura y en calidad de redes han permitido una mayor demanda de usuarios potenciales de zonas rurales.

## **Primera Generación (1G)**

Los de la primera generación sistemas en la década de los 70's consolidados en tecnologías analógicas y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces era muy baja, tenían baja velocidad. La transferencia entre celdas, era muy imprecisa contaban con una baja capacidad basadas en FDMA, no existía la seguridad. Tecnología predominante de esta generación es AMPS (primer sistema de telefonía celular de Estados Unidos), usando frecuencias de banda de 800MHz hasta 900MHz y de 30KHz de banda ancha para cada canal. Siendo el primer sistema estándar en telefonía celular mundial.

## **Segunda Generación (2G)**

Los de segunda generación nacen en la década de 1990, como Sistemas Globales de Telecomunicaciones Móviles (GSM), Celular Digital Personal (PDC), Code Division Multiple Access (CDMA), y el interino (IS)- 95, tecnologías digitales que soportan una mejor calidad de voz mejor que la anterior, limitados en comunicación de datos. Ofrecen servicios auxiliares, como datos, fax y SMS (Short Message Service). Aumenta el nivel de seguridad. Las frecuencias utilizadas en Europa fueron de 900 y 1800 MHz. En esta nacen varios estándares de comunicaciones móviles: D- AMPS (EEUU), PDC (Japón), cdmaOne (EEUU y Asia) y GSM.

GSM ofrecía un servicio de voz o datos a baja velocidad, el mercado comenzó a requerir servicios multimedia que aumentarían la transferencia de datos. Se empieza a gestar la idea de 3G, sin embargo la tecnología CDMA no estaba lista en aquel momento se optó por dar un paso intermedio: 2.5 G.

### **\* Generación 2.5**

Es más rápida, más económica que la 3G, en esta se incluyen nuevos servicios como EMS y MMS:

- EMS servicio de mensajería mejorado, permite la inclusión de melodías e iconos dentro del mensaje basándose en los SMS; un EMS equivale a 3 o 4 SMS.
- MMS (Sistema de Mensajería Multimedia) se envían mediante GPRS, permiten la inserción de imágenes, sonidos, videos y texto. Se envía en forma de diapositiva, solo puede contener una imagen, un sonido y un texto en cada plantilla.

- \* GPRS (General Packet Radio Service) permite velocidades de datos desde 56 kbps hasta 114 kbps.
- \* EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) permite velocidades de datos hasta 384 Kbps.

### **Tercera Generación (3G)**

Los sistemas de tercera generación basados en tecnologías digitales de voz mixtas, capacidad de transmisión de datos y tráfico multimedia, conexión a Internet desde el móvil, videoconferencia, la televisión y la descarga de archivos; mixtos de circuitos y conmutación de paquetes de red. El primero se introdujo en octubre de 2001 en Japón.

Están diseñados para la comunicación multimedia: de persona a persona la comunicación puede ser mejorada con imágenes de alta calidad y video, acceso a información y servicios, reforzada por los altos índices de datos y de comunicación.

La tecnología WCDMA es la interfaz más ampliamente utilizada. Su especificación se ha creado en el 3GPP proyecto de normalización conjunta de los organismos.

Dentro de 3GPP:

WCDMA se llamó UTRA, se utiliza para cubrir tantas operaciones de FDD y TDD.

*FDD* utilizan diferentes bandas de frecuencias para el enlace ascendente y descendente separado por la distancia doble cara.

*TDD* usa la misma frecuencia en enlace ascendente y descendente; 1900 a 1920MHz y 2020 a 2025MHz.

Las redes UTRAN están diseñadas desde el principio para la entrega flexible para cualquier tipo de servicio, donde cada nuevo servicio no requiere de optimización de la red en particular.

#### \* **Generación 3.5**

Es la evolución de la tecnología 3G usando HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) que permite velocidades bajadas de hasta 14,4 Mbps.

#### \* **Generación 3.75**

Es la evolución de la tecnología 3G usando HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) que permitirá velocidades subida de hasta 5.8 Mbps. pero solo en 3G.

\* **Generación 3.9**

También conocida como súper 3G, es una tecnología intermediaria previa a 4G, se podrá obtener grandes cantidades de datos (100 Mbps)

**Cuarta Generación (4G)**

Los sistemas de cuarta generación estarán basados totalmente en IP siendo un sistema de sistemas y una red de redes, se desarrolla con el objetivo de acomodar servicio de calidad (QoS) manteniéndolo de punta a punta (end-to-end) de alta seguridad para permitir ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier lugar, con el mínimo coste posible. y satisfacer los requerimientos de transmisión de información que necesitan las nuevas generaciones de aplicaciones, tales como banda ancha inalámbrica, MMS, video chat, Mobile TV, contenido HDVT, y Digital video Broadcasting. Alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para proveer velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo.

El WWRF define 4G como una red que funcione en la tecnología de Internet, combinándola con otros usos y tecnologías tales como Wi-Fi y WiMAX. La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata. El IEEE aún no se ha pronunciado designando a la 4G como “más allá de la 3G”.

En Japón ya se está experimentando con las tecnologías de cuarta generación, estando NTT DoCoMo a la vanguardia. Esta empresa realizó las primeras pruebas con un éxito rotundo (alcanzó 100 Mbps a 200 km/h) y espera poder lanzar comercialmente los primeros servicios de 4G en el año 2010. Las Asociaciones Reguladoras Internacionales de Telecomunicaciones trabajan en el lanzamiento mundial de la Tecnología 4G para el 2012-2015.

El concepto de 4G englobado dentro de ‘Beyond 3-G’ incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO y OFDM. Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE (‘Long Term Evolution’) para el acceso radio, y SAE (‘Service Architecture Evolution’) para la parte núcleo de la red. Como características principales tenemos:

- Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS.
- Uso de SDR (Software Defined Radios) para optimizar el acceso radio.
- La red completa prevista es todo IP.

- Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente (con espectros en ambos sentidos de 20 Mhz).

Los nodos principales dentro de esta implementación son el 'Evolved Node B' (BTS evolucionada), y el 'System Access Gateway', que actuará también como interfaz a internet, conectado directamente al Evolved Node B. El servidor RRM será otro componente, utilizado para facilitar la inter-operabilidad con otras tecnologías.

### **Estado del arte**

Las comunicaciones móviles han dado una evolución en los últimos años, desde la AMPS que fue el primer sistema de telefonía móvil hasta la actualidad con la 4G que es la LTE.

La tecnología GSM (2G) se convirtió en un Standart, por sus mejoras con respecto a la anterior esto permitió un gran índice de crecimiento y aceptación en el mercado, ya que esta actualmente disponible en más de 200 países a nivel mundial. Siendo utilizada por una sexta parte de la población mundial.

Con anterioridad, entre 1981 y 1987 se tenía la desventaja que no se podía hacer roaming entre los países, en 1987 se firmó un "memorándum de entendimiento" por 13 países en Copenhague comprometiéndose a introducir un sistema en 1991.

La especificación GSM tenía radio enlace entre las BS y los móviles como en AMPS; incluyendo funcionalidades y servicios que definieron todos los aspectos de la red, también se hizo énfasis en la funcionalidad del roaming, la que incremento su uso más de lo esperado; los servicios de este sistema Europeo comenzaron a evolucionar constantemente.

Posteriormente se dio un avance con el EDGE, que vino como una evolución del GPRS, utilizando para la transmisión de datos el núcleo de la red GSM, lo que permite el uso de servicios avanzados como descarga de videos, música, MMS con videos, navegación por internet visualizadas a todo color y servicios de EMAIL.

Sus servicios de navegación son similares a los de la banda ancha (logrando conectarse a internet, enviar y recibir información, archivos, pagina web), con una velocidad 3 veces mayor que la GSM convencional.

Con la evolución de la GSM se llegó a la tecnología 3GSM; la que ofrece esta soportada con tecnología GSM con una interfaz wideband-CMDA (CMDA de banda ancha); En las redes CDMA de 3G se sigue utilizando el protocolo IS-41 entre el MSC, HLR, VLR y AC así también como en MSCs. Para la conmutación de circuitos de voz y datos se sigue utilizando el protocolo IS-2000 entre las BSC y MS (terminal de usuario).

Se puede observar que con la tecnología CDMA la migración entre 2G y 3G es más simple que en GSM, debido a que reutiliza gran parte de la red instalada; esta es de mucha utilidad cuando el número de abonados que hacen uso de aplicaciones de datos es sumamente alto.

La tercera generación fue construida sobre una plataforma digital, esta brinda acceso inalámbrico a la infraestructura global de telecomunicaciones, mediante sistemas terrestres y satelitales que atenderá a usuarios móviles y fijos en redes públicas o privadas.

La Cuarta generación estará basada en IP, una red que funcionara en tecnología de internet combinándola con Wi-Fi y WiMAX. No tiene un standart definido, siendo una colección de tecnologías y protocolos.

## CAPÍTULO 2

### HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

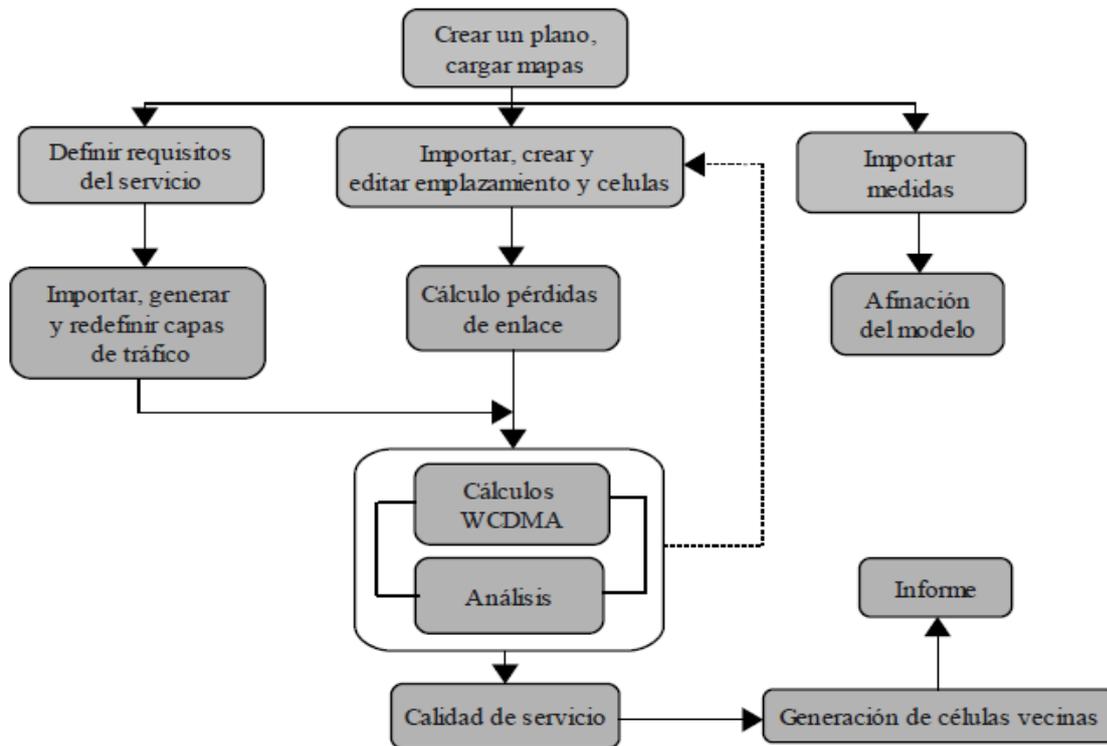
#### 2.1 Introducción a ATOLL

Es una herramienta de planificación flexible, escalable, técnico abierto que permite la optimización de los operadores de redes inalámbricas, la tarea de los planificadores es cumplir desde el diseño inicial de la densificación y la optimización. Compatible con una amplia variedad de hipótesis de aplicación, utilizando las configuraciones de computación distribuida y multihilos. Proporciona al usuario la gestión de derechos el intercambio de datos e integración. Habilita la automatización de tareas a través de un lenguaje de marcas estándar, incluye un avanzado C++, Software Development Kit (SDK) facilita la personalización.

#### *Principales Características de ATOLL*

- Propiedades avanzadas en el diseño de redes: Herramientas de calculo de propagaciones de altas prestaciones, redes multicapas y jerárquicas, modelado de trafico como planificación automática de frecuencias, códigos y optimización de red. Soporta tecnologías híbridas (GSM/UMTS, GSM/GPRS, CDMA/CDMA 2000, W-CDMA/UMTS).
- Arquitectura abierta y flexible: Permite compartir datos e integración con otros sistemas de entornos multiusuarios Los parámetros de entrada cuentan con requisitos relacionados con la calidad, la capacidad y la cobertura de cada servicio; un conjunto integrado de la AFP y las herramientas de los países ACP.
- Calculos distribuidos y paralelos: Tolera cálculos paralelos en servidores multiprocesador entre distintas estaciones de trabajo.
- GIS de última generación: Sostiene multi- formato / multi- resolución de los datos geográficos. De alta resolución de zonas urbanas y datos en todo el país son compatibles y se muestra de forma interactiva, Agrega ingeniería y predicción de las parcelas.

Se basa en mapas digitales del terreno. Con este se logra realizar cálculos con la información que extrae de dichos mapas y bases de datos con información de la red. Fig.1

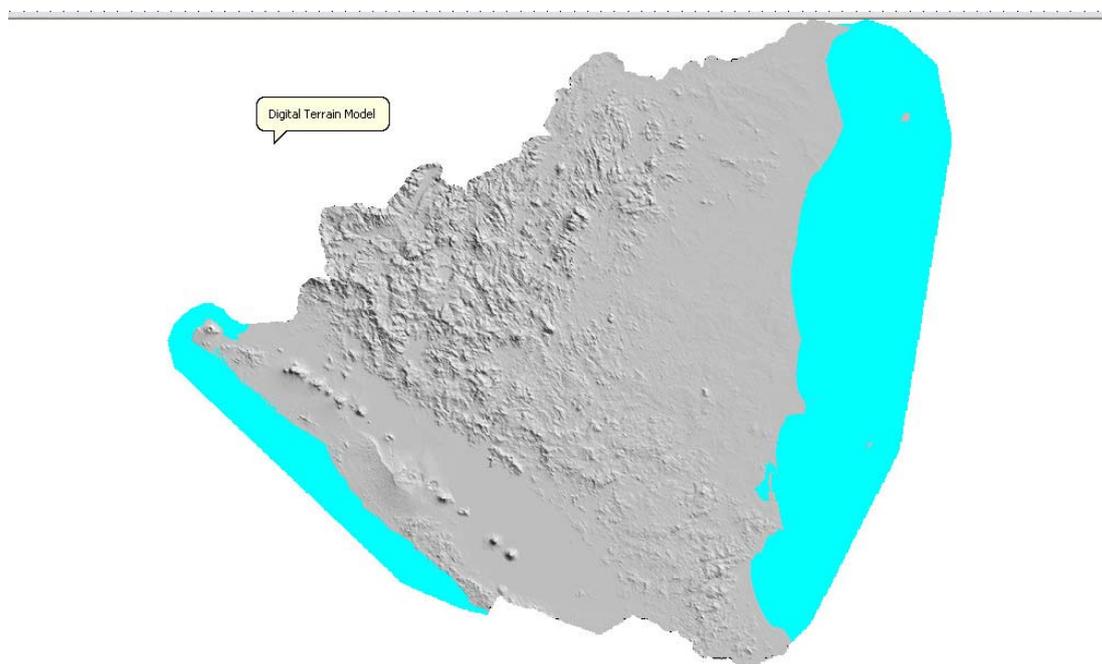


## 2.2 Componentes de Atoll

Para la creación de un proyecto de tipo UMTS / W-CDMA (File/new) seleccionamos la plantilla UMTS HSDPA. Inicialmente se importan los mapas correspondientes a la ciudad o comunidad necesarios para las predicciones de cobertura (pérdidas del enlace, link loss), cuyos datos serán posteriormente usados en la fase de cálculo y en utilidades de análisis. (File/Import), eligiendo los archivos index de las distintas carpetas en las que se encuentran agrupados los mapas: *Heights* (mapa de tipo altitudes), *clutter* (de tipo clutterclasses), *Ortho* (image) y *Vector* (lineare), *Tabulaciones*.

La resolución de los mapas que vamos a usar es de 30 m, que es suficiente ya que la zona objetivo presenta una topografía uniforme y bastante regular.

El mapa *heights* es un mapa de altimetría y contiene información topográfica y del relieve de la zona de trabajo. La información contenida en este mapa es la que se utiliza para los cálculos de cobertura y de propagación. El mapa de altimetría que utilizaremos para nuestro estudio es el que se muestra en la figura 2.



El mapa *clutter* es el mapa de usos del terreno y en él, a cada tipo de terreno le corresponde un color. El clutter que vamos a utilizar es el que se muestra en la siguiente figura.



El mapa *Ortho* es simplemente una foto aérea de la ciudad. Es el que se muestra en la Figura 4:

Por último, el mapa *Vectores* identifica carreteras, ríos, líneas de ferrocarril, etc. El mapa *Vectores* que vamos a utilizar es que aparece en la Figura 5.

### **Proyecto**

Es una combinación de varios objetos que forman un paquete entendible por el planificador de red. Generalmente definido por los siguientes elementos:

- Mapa digital
- Propiedades del mapa.
- Área a planificar
- Tecnología de acceso elegida
- Parámetros de entrada para cálculos
- Modelos de antenas.

Este es creado y definido antes de que empiecen las actividades de planificación. Incluyendo las configuraciones y parámetros de los elementos de la red. En la práctica contendrá todos los datos de BTSs y celdas que serán finalmente desplegadas en la red real.

*Antena* es un concepto lógico que incluye modelos de radiación de antena y parámetros como ganancia y banda de frecuencia. Una vez que la antena está definida, puede ser entonces asignada y usada por las celdas y predicciones de cobertura.

Los vendedores de antenas proporcionan a los operadores los modelos por medio de data sheets (hojas de características). A través de estos datos, se dispone en la herramienta de una base de datos con todas las características de las antenas.

Debe soportar diferentes características de áreas planificables y entornos de propagación, así como varios modelos de propagación entre ellos: Okumura-Hata, Walfisch-Ikegami y Ray-tracing

## Planificación

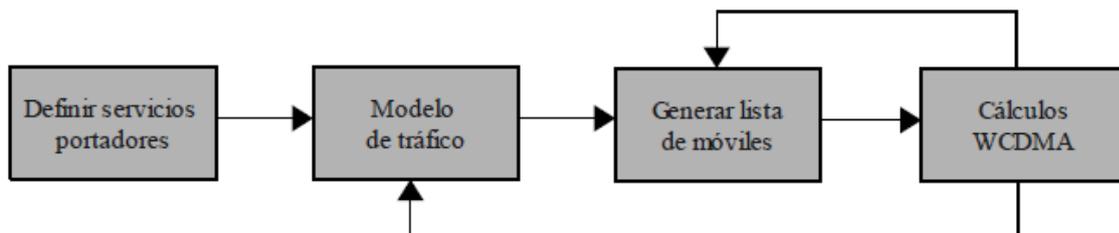
Cuando se planifica una red de 3G, el operador desea utilizar la red de segunda generación tanto como le sea posible. Por lo tanto, es importante para la herramienta proveer soporte para importar las localizaciones de los emplazamientos de 2G, así como los datos de las antenas al nuevo proyecto, especialmente cuando se realiza un proyecto de red combinando redes de segunda y tercera generación. Todo esto puede reducir el tiempo de planificación de la nueva red.

Se deben realizar modificaciones de los parámetros e información de las antenas. Luego haber de importado los datos de emplazamiento de la celda.

El modelado del tráfico y los requisitos del servicio son básicos para la planificación, evaluación de cobertura y capacidad. Cuanto más se ajuste el tráfico estimado, más realistas serán los resultados obtenidos.

En la definición de servicio, se asignan la tasa de bits y el tipo de servicio portador para cada uno de ellos. En el modelado de tráfico, es posible crear previsiones de tráfico de distintas formas.

El procedimiento básico de planificación de tráfico se muestra en la siguiente figura.



## Proceso de planificación iterativo para redes WCDMA

La primera tarea es definir los servicios portadores y la segunda es el modelo de tráfico. Después, la lista de móviles es generada y finalmente los cálculos WCDMA. Los modelos de propagación son ajustados para adaptarse a los entornos de propagación tanto como sea posible.

Se realizará un proceso de ajuste independiente para cada tipo de áreas, incluyendo rurales, suburbanas, urbanas y urbanas densas; para conseguir una mejor precisión. Por defecto están ajustados para adaptarse a los valores actuales de potencia de la señal de la ruta.

### **Cálculos de presupuestos de enlaces**

Se calcula el plan de cobertura inicial, es decir, las pérdidas desde la BS hasta los móviles. Los cálculos de pérdidas del enlace (más tarde denominado LLOS) son usados para obtener el nivel de señal en cada pixel del área dada.

Los factores que pueden afectar a los resultados de los cálculos de pérdidas del enlace pueden ser:

- Configuración de la red (emplazamientos, celdas, antenas)
- Modelo de propagación
- Área de cálculo
- Parámetros de pérdidas de enlace
- Pérdidas del cable y de interior
- Ajuste de LOS
- Correcciones del tipo de clutter
- Correcciones topográficas
- Difracción

La herramienta soporta esquemas de diferentes colores para las visualizaciones, una manera es usando distintos colores para diferentes umbrales de señal.

Durante la planificación de la red, se necesita optimizar la configuración de las estaciones bases: la selección y dirección de las antenas además del ajuste de la localización de los emplazamientos necesitan para aproximarse lo más posible a los requisitos de QoS, capacidad y servicios al mínimo coste posible.

### **Análisis de una imagen instantánea**

Este proceso ocurre cuando un planificador de red quiere encontrar si el despliegue actual de la red es factible, por ejemplo desde el punto de vista de la interferencia. El planificador suele ser capaz de realizar un análisis de una sola imagen en al menos dos formas:

- Primero solo se realizan un par de iteraciones para los enlaces ascendente y descendente, para encontrar rápidamente esas áreas con cobertura pobre que están experimentando una interferencia alta. El planificador puede entonces hacer los cambios necesarios antes de empezar más cálculos detallados que requieren un consumo de tiempo y de potencia de computación considerables.
- El segundo método de análisis necesita mucha más información a tener en cuenta durante las iteraciones. Por ejemplo, cuando se realiza un análisis completo de los cálculos LLOS de una sola imagen, la lista de distribución de los móviles y el mapa de tráfico son necesarias. Durante las simulaciones iterativas, los usuarios móviles son puestos en parada hasta que es alcanzado el estado estacionario. Esto significa que las variables internas no cambian más de un predeterminado valor. Como resultado, los indicadores mencionados son calculados y están listos para un tratamiento posterior al análisis.

### **Análisis Avanzado**

La implementación de análisis avanzados está basada en la generación automática de múltiples listas de móviles. En caso de que requiera mayor control del análisis se puede definir el número de listas de móviles que necesite. Cada lista representa una imagen estática de la situación de tráfico en la red, es decir, la localización de los usuarios de móviles en un momento dado. Los resultados de los análisis WCDMA de cada imagen son combinados para proporcionar resultados estáticamente relevantes y fiables. Cuanto más alto sea la tasa de bit de los servicios, mayor número de imágenes serán necesarias para salvar la dependencia de los resultados con la localización de los móviles.

Los resultados proporcionados por las aplicaciones consisten en gráficas basadas en todas las iteraciones realizadas e indicadores de funcionamiento relacionados con el correspondiente análisis. Todos los resultados son proporcionados con un sumario general que proporciona una forma fácil y rápida de identificación de los posibles problemas y la verificación de la cobertura, calidad y capacidad de la red.

### **Análisis de los Resultados**

Cuando los cálculos y las simulaciones han sido realizados con la herramienta, el próximo paso es verificar y analizar si los resultados son aceptables. La aplicación proporciona soportes para un posterior procesamiento, análisis y visualización de diferentes formas. Todas las fases mencionadas son ejecutadas basándose en los resultados de las iteraciones guardadas previamente. Si no se consiguen los objetivos de cobertura, calidad o QoS, se deben realizar las actividades normales de planificación para mejorar las características de la red en uso hasta un nivel aceptable. La herramienta debe mostrar los resultados necesarios para que el planificador realice estas optimizaciones. Los resultados se pueden mostrar generalmente en forma de mapas raster, tablas numéricas o histogramas.

### **Celdas Adyacentes**

La lista de celdas adyacentes contiene celdas vecinas (parte de la red) que son necesarias para realizar un correcto handover entre las celdas de la red activa; la información de la adyacencia es definida por la celda base, esto genera una lista de celdas adyacentes en funcionamiento para una correcta configuración y ajuste de parámetros. La adyacencia puede ser realizada entre sistemas y entre frecuencias, así las posibles serán:

- Adyacencia 2G-2G
- Adyacencia 2G-3G
- Adyacencia 3G-2G
- Adyacencia entre frecuencias 3G-3G (hardhandover)
- Adyacencia entre frecuencias 3G-3G (softhandover)

### **Reporte**

Proporciona una amplia gama de información, incluyendo las siguientes impresiones:

- Imágenes raster del área (y las celdas) seleccionada
- Configuraciones y parámetro de los elementos de red
- Varias gráficas
- Informes específicos personalizados por el operador

### **Entrelazado con otras herramientas**

Los operadores normalmente tienen herramientas para manejar información de usuarios y de negocios, de dimensionado, planificación de transmisión, de medida y sistemas de manejo de redes. Un requisito básico es proporcionar flujos de información y datos desde cada herramienta como apoyo para el proceso total de trabajo. Los datos de configuración y del plan en sí pueden ser exportados hacia la aplicación de manejo de la red del operador. Los datos exportados contienen importantes parámetros sobre configuración de la red y gestión de los radio recursos (RRM) para los elementos de red de un área seleccionada completa.

Para replanificar algunos elementos de red es posible obtener datos de red y parámetros desde la herramienta, así la planificación y optimización puede elaborarse con valores actualizados.

### **2.3 Simulación con Atoll**

A continuación se va a explicar los aspectos más importantes y generales que servirán para comprender mejor la parte principal de este proyecto, la planificación de una red de tercera generación, UMTS.

#### *2.3.1 Entorno de trabajo ATOLL*

El entorno de trabajo proporciona un completo e integrado conjunto de herramientas y características que permiten crear y definir un proyecto de radio planificación con una sola aplicación. Se puede guardar el proyecto en un solo fichero o enlazarlo a ficheros externos. Usa elementos de interfaz estándares de Windows, por lo que soporta muchas de las opciones propias de este sistema operativo como son la posibilidad de tener abiertos varios documentos al mismo tiempo, funcionalidades de drag-and-drop (coger y soltar), copiar y cortar por medio de atajos de teclado, deshacer cambios recientes en el proyecto así como las opciones de Windows de imprimir mapas completos, partes de estos o sólo ciertos objetos. También existen herramientas de búsqueda emplazamientos, puntos en el mapa o vectores.

Uno de los elementos más útiles de la interfaz es la ventana de exploración que nos permitirá manejar todos los objetos del proyecto: emplazamientos, transmisores,

cálculos, etc., además de datos geográficos como el DTM (Digital TerrainModel), clases de clutter y mapas de tráfico.

El contenido de las carpetas en la ventana de exploración puede mostrarse en tablas, permitiendo gestionar grandes cantidades de datos. Podemos ordenar y filtrar los datos en las tablas o cambiar la forma en la que los datos están dispuestos. También se puede usar la tabla para introducir grandes cantidades de información cortando y pegando éstas desde hojas de cálculo de Windows.

El mapa es el área de trabajo del proyecto y ATOLL proporciona muchas características para trabajar con él. Podemos cambiar la vista moviendo, ampliando o centrándonos en un punto para poder elegir que y como se muestran los objetos.

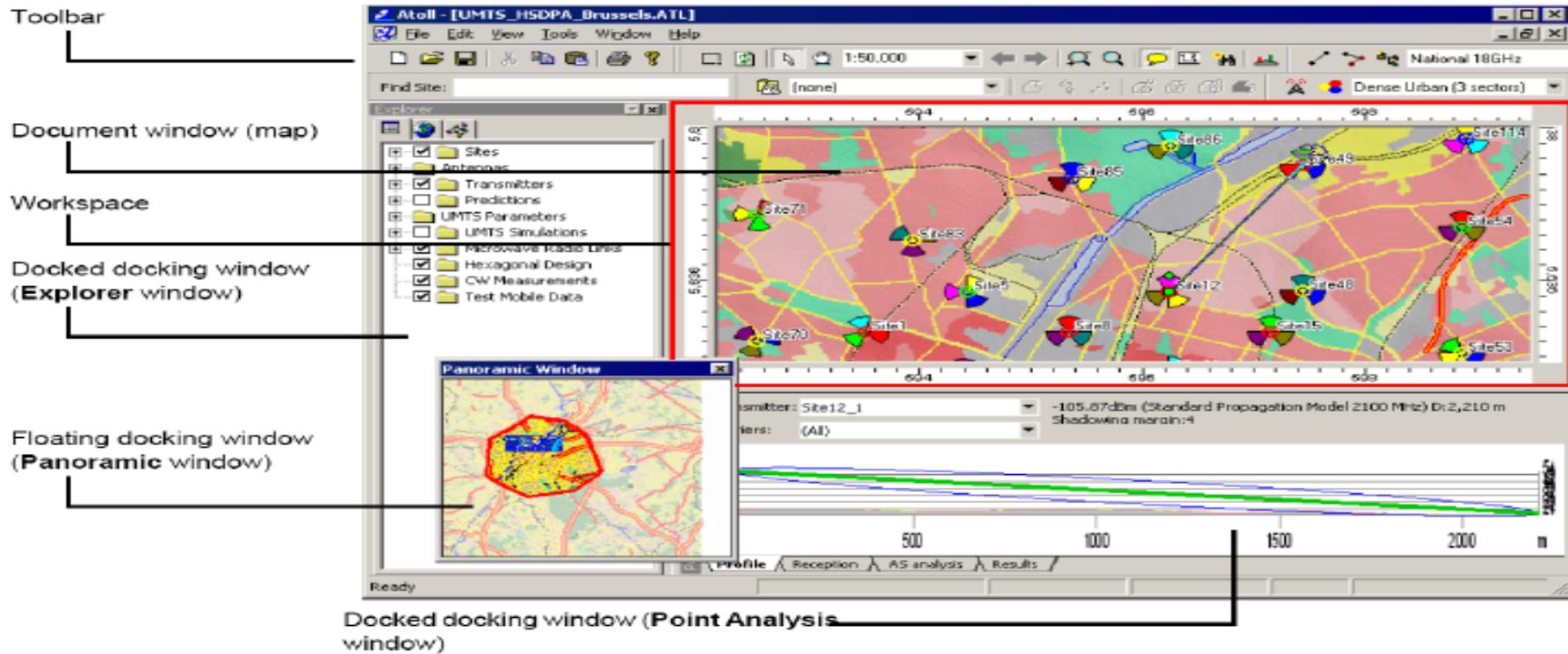
Existen dos tipos de ventanas:

- ✓ Ventanas de documento: Contienen el mapa, además de tablas de datos específicos e informes.
  
- ✓ Ventanas acopladas: Muestran el contenido del proyecto activos, por ejemplo la ventana del explorador.

### **Ventana de exploración (Explorer Windows)**

Es una ventana acoplada principal que contiene los datos y los objetos del proyecto, distribuidos en carpetas. Cada objeto y carpeta tiene un menú específico al que se puede acceder con un click del botón derecho del ratón sobre el. Los elementos pueden ser modificados desde el nivel superior, dichos cambios afectaran a todos los de la misma carpeta o se puede hacer individualmente.

La interfaz del ATOLL, con ejemplos de ambos tipos de ventanas se muestra en la siguiente figura:



La ventana de exploración tiene tres tablas:

- Data tab: Permite manejar los datos y cálculos de radiocomunicación. Dependiendo de los módulos instalados con ATOLL, se tendrán las siguientes carpetas:

- ✓ Sites(emplazamientos)
- ✓ Antennas(antenas)
- ✓ Transmitters(transmisores)
- ✓ Predictions(predicciones)
- ✓ UMTS , cdmaOne/CDMA2000 Parameters, or GSM/GPRS Parameters
- ✓ Traffic analysis (GSM/GPRS/EDGE projects only) (ánalisis de tráfico)
- ✓ Hexagonal design(diseño hexagonal)
- ✓ Microwave links (enlaces de microondas)
- ✓ CW Measurements and Test mobile data (datos de medidas CW y pruebas de móviles)

- Geo tab: Permite manejar los datos geográficos. El número de carpetas dependerá del número y tipo de datos geográficos que se importen o creen:

- ✓ Clutter classes
- ✓ Clutter heights
- ✓ Digital Terrain Model (DTM)
- ✓ Population data
- ✓ Any generic geo data map
- ✓ Traffic (GSM/GPRS/EDGE/TDMA, UMTS HSPA, cdmaOne/CDMA2000)

- Modules tab: Permite manejar los modelos de propagación y módulos adicionales.

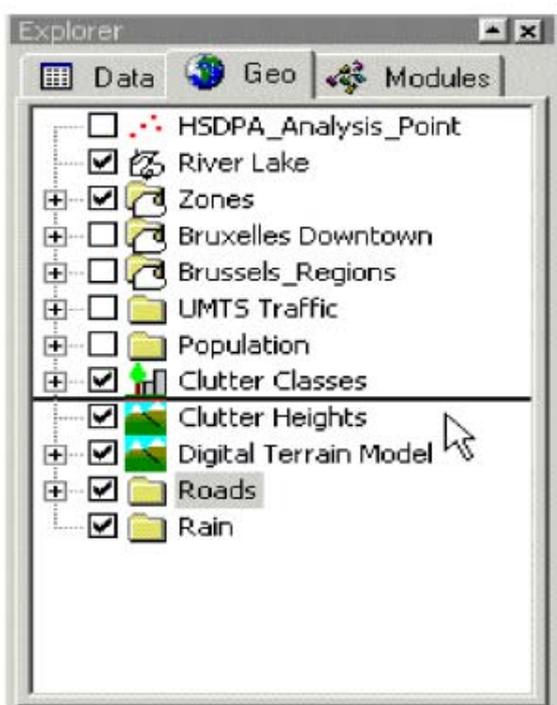
Contiene:

- PropagationModels, la carpeta de Modelos de propagación contiene:
  - ✓ Longley-Rice
  - ✓ Okumura-Hata
  - ✓ Costa-Hata
  - ✓ Standard Propagation Model
  - ✓ ITU 526-5
  - ✓ ITU 370-7 (Vienna 93)
  - ✓ WLL

✓ Microwave Propagation Model

- AFP models, módulos AFP disponibles en la instalación de ATOLL, es decir, cualquier otro módulo creado usando API

El mapa está formado por objetos ordenados en capas. La capa en la cima es la más visible en la pantalla y en la impresión. La visibilidad de las capas bajas depende de que capas estén sobre ellas y su visibilidad y transparencia. Para mover una capa arriba o abajo basta con arrastrarla con el ratón hasta la posición deseada.



Organización de Capas

**Empezando un Proyecto**

Para empezar un proyecto, se basa en una plantilla que tiene los datos y la estructura de carpetas necesarias para la tecnología que se esté usando. Podemos modificar los parámetros de red según nuestras necesidades particulares. ATOLL proporciona varias plantillas: GPS GPRS EGPRS, CDMA2000 1xRTT 1xEV-DO, IS-95 cdmaOne, microwave links, UMTS HSPA, and WiMAX. Las plantillas proporcionadas dependen de los módulos incluidos con la instalación. También

podemos crear nuestras propias plantillas abriendo las existentes y guardándola una vez hechos los cambios necesarios para cumplir nuestras necesidades.

Algunas de las plantillas más importantes son:

- GSM/GPRS/EGPRS: Esta plantilla se usa para modelar telecomunicaciones de móviles de segunda generación (2G) usando tecnología TDMA (Time Division Multiple Access). Puede ser usada para modelar las siguientes tecnologías:

- GSM (Global System for mobile communication): 2G basada en TDMA.
- GPRS (General Packet Radio Service): tecnología de conmutación de paquetes que activa aplicaciones de paquetes en redes GSM. Tecnología 2.5G.
- EDGE (Enhanced Data for Global Evolution): Triplica la tasa de datos de redes GSM/GPRS.
- EGPRS (GPRS operatin gover EDGE): Es GPRS pero operando sobre EDGE para tasas de datos mejoradas.

- CDMA2000 1xRTT 1xEV-DO: Esta plantilla puede ser usada para modelar 3G basada en tecnología CDMA2000. CDMA2000 es una evolución de CDMA (Code Division Multiple Access, acceso múltiple por división de código). Se puede usar en las siguientes tecnologías:

- 1xRTT (1 Radio Transmission Technology): Ofrece capacidad de voz incrementada. Considerada 2.5G.
- 1xEV-DO (1x Evolution – Data Only): Evolución de CDMA2000 que proporciona tasas de datos diez veces mayor que 1xRTT. Es considerada 3G.

- UMTS HSPA: UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), comúnmente referida como HSPA, son sistemas de telecomunicación de tercera generación basadas en tecnología WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Además WCDMA y CDMA son compatibles. UMTS y HSPA son generalmente implementadas sobre redes GSM.

En ATOLL se usan diferentes tipos de datos geográficos, los cuales se pueden importar o crear. Por ejemplo: DTM, clases de clutter, clutter heights, imágenes escaneadas, mapas de población y de tráfico. Algunos tipos, como clases de clutter, pueden usarse para dar resultados más realistas. Otros tipos, como las imágenes escaneadas, se usan para dar una visión más realista de la región bajo estudio.

La “Geo tab” de la ventana de exploración tiene carpetas para los tipos usuales de datos. Además, eligiendo la carpeta estamos eligiendo el uso del archivo importado. También podemos crear nuestro propio tipo de datos importando un archivo y definiendo que dato será usado.

Los diferentes tipos de datos geográficos juegan distintos papeles en ATOLL:

- Datos geográficos basados en cálculos de propagación:

- Digital terrain model:

El DTM describe la elevación del suelo sobre el nivel del mar. Se puede mostrar el DTM de diferentes formas: por valor único, valores discretos o intervalo de valores.

- Clutter classes:

Describe la superficie de la tierra o el uso de ésta. Cada pixel del archivo clutter class contiene un código (de un máximo de 256 posibles) que corresponde con una clase de clutter, o en otras palabras un cierto tipo de terreno usado.

- Clutter heights:

Describen la altitud del clutter sobre el DTM con una altitud definida por pixel. Los mapas clutter heights pueden ofrecer información más precisa que la de clutter classes porque, en un fichero clutter heights, es posible tener diferentes alturas dentro de una única clase de clutter. Al igual que el anterior podemos definir el mapa de clutter heights de formas distintas: por valor único, valores discretos o intervalo de valores.

- Datos geográficos usados en dimensionamiento:

- Mapas de tráfico:

Contienen información de la capacidad y servicio usada por área geográfica. Estos mapas se usan para los análisis de capacidad de la red.

- Datos geográficos usados en estadísticas:

- Mapas de población:

Contienen información de la densidad de población o el número total de habitantes. Los mapas de población se pueden usar en informes de predicción para visualización. No tienen efectos sobre los resultados de las simulaciones.

- Otros mapas:

Se pueden importar muchos tipos diferentes de archivos, por ejemplo, costeros, de precipitaciones, o socio-democráticos. No tienen efecto sobre ninguna simulación.

- Datos geográficos usados para propósitos de visualización:

- Mapas escaneados:

Son archivos de datos geográficos que representan el entorno físico actual, por ejemplo, mapas de carretera o imágenes de satélites. Son usadas para proporcionar un fondo preciso para otros objetos o para mapas menos precisos y son usados sólo para visualización, no tienen efectos sobre los cálculos.

- Contornos, líneas y puntos representando, por ejemplo, carreteras, vías de tren o regiones:

Soporta contornos, líneas y puntos para representar polígonos, como regiones, o líneas, como carreteras o líneas de costa. Son usadas solo para visualización y no tienen efecto sobre los cálculos. Los contornos se pueden usar para crear filtros poligonales o zonas enfocadas.

Al importar un archivo geográfico, crea una conexión al fichero (activando la casilla de Embed in Document), reconoce el formato de éste y nos sugiere la carpeta apropiada en el “Geo Tab” de la ventana de exploración. Cuando esta enlazado al archivo, cualquier modificación que hagamos del documento no afectará al archivo de información geográfica, sin embargo cuando el archivo está integrado, es guardado como una parte del documento. Hace un listado de todos los mapas importados en sus respectivas carpetas y crea una carpeta separada para cada archivo de vectores y cada imagen escaneada importada. Cada objeto se sitúa en una capa separada. Las capas se organizan de arriba a abajo en la ventana de mapa en el mismo orden en el que aparecen en la ventana de exploración.

Todos los objetos de la Data tab, como los transmisores, antenas y predicciones, se visualizan sobre todos los objetos de la Geo tab.

Hay algunos factores que pueden influenciar en la visibilidad de los datos geográficos.

- \* El cuadro de control de visualización: ( ) Está situado a la izquierda de cada objeto y sirve para controlar si está o no visible en el mapa. Tres situaciones: No visible, completamente o parcialmente visible.
- \* El orden de las capas: La capa arriba de la Geo tab está arriba de todas las capas de la ventana de mapas. Se puede cambiar el orden de las capas moviéndolas con el ratón de forma que la visualización final sea la adecuada a nuestras necesidades.
- \* La transparencia de los objetos: Las predicciones, y algunos tipos de objetos, como las clutter classes, para permitir la visibilidad de objetos situados en capas inferiores.
- \* El rango de visibilidad de los objetos: Un objeto solo es visible en la ventana de mapa si la escala, dispuesta en la barra de zoom, está dentro del rango.

### 2.3.2 Equipamientos

#### Antenas:

Para crear una nueva antena, importamos la información necesaria desde fuentes externas, como una spreadsheet (hoja electrónica) o desde un archivo. Cada plantilla de un proyecto tiene antenas específicas de la tecnología soportada del tipo de proyecto. Permite crear antenas y ajustar parámetros como el fabricante, la ganancia, y los patrones de radiación horizontal y vertical.

Cuando creamos la antena podemos copiar sus características desde una hoja electrónica o desde un documento de windows, como una hoja de cálculo.

|    | A                  | B           | C                | D           |
|----|--------------------|-------------|------------------|-------------|
| 1  | Horizontal Pattern |             | Vertical Pattern |             |
| 2  | Angle              | Attenuation | Angle            | Attenuation |
| 3  | 0                  | 0           | 0                | 0           |
| 4  | 1                  | 0           | 1                | 0.1         |
| 5  | 2                  | 0           | 2                | 0.2         |
| 6  | 3                  | 0           | 3                | 0.5         |
| 7  | 4                  | 0           | 4                | 0.8         |
| 8  | 5                  | 0           | 5                | 1.3         |
| 9  | 6                  | 0           | 6                | 1.8         |
| 10 | 7                  | 0.1         | 7                | 2.5         |
| 11 | 8                  | 0.1         | 8                | 3.3         |
| 12 | 9                  | 0.1         | 9                | 4.2         |
| 13 | 10                 | 0.1         | 10               | 5.4         |
| 14 | 11                 | 0.1         | 11               | 6.6         |
| 15 | 12                 | 0.1         | 12               | 7.9         |

Emplea las propiedades para calcular las pérdidas del enlace ascendente y descendente y la figura de ruido de la BTS del transmisor en UMTS, cdmaOne/CDMA2000, or WiMAX. En GSM, calcula las pérdidas del enlace descendente. Estos parámetros se calculan automáticamente desde las propiedades de los componentes o pueden ser definidos por el usuario.

Los subsistemas de una estación base consiste en los siguientes componentes:

- \* Tower-mounted amplifier (TMA) (Amplificador montado en torre): son usados para reducir la figura de ruido de la estación base. Están conectados entre la antena y el cable de alimentación. Parámetros: Nombre; Figura de ruido (dB); Ganancia de recepción (dB), Pérdidas de transmisión (dB).
- \* Cables de alimentación: Conectan el TMA a la antena. Parámetros: Nombre;

Pérdidas por longitud; Pérdidas del conector de recepción; Pérdidas del conector de transmisión (todas en dB).

- \* Base transceiver station (BTS). Parámetros: Nombre; Figura de ruido (cB); Factor Rho (%).

### **Modelos de Propagación**

Mediante los cálculos de pérdidas entre transmisor y receptor, el modelo de propagación permite predecir el nivel de señal recibido en cualquier punto dado. El modelo de propagación calcula las pérdidas usando:

- Propagación por el espacio libre
- Reflexiones
- Difracciones
- Scattering
- Datos específicos del proyecto, como:
- Transmisores, antenas y equipamiento
- El DTM y, dependiendo del modelo de propagación, las clases de clutter.

Permite seleccionar el modelo de propagación que mejor se adapte a la tecnología y las condiciones del proyecto. Por ejemplo, para los transmisores del centro de la ciudad, se puede usar un modelo para los cálculos de propagación en entornos urbanos, y para los transmisores de fuera de la ciudad, otro modelo para espacio abierto.

Admite usar un modelo principal y otro extendido. El modelo principal tiene mayor resolución y un radio de cálculo más corto. El modelo extendido tiene una resolución menor y un radio de cálculo mayor.

Es posible asignar un modelo principal y extendido a todos los transmisores, a uno sólo y también establecer un modelo por defecto para usarlo para cálculos de predicciones de cobertura.

Hay dos tipos de modelos de propagación en ATOLL: Empíricos y Deterministas.

Modelos empíricos: (Okumura-Hata, Cost-Hata, Longley-Rice, Standard Propagation Model, ITU 529-3, y WLL) basados en fórmulas con parámetros modificables. También podemos usar modelos empíricos como plantillas al copiarlas y modificar parámetros para que se adapten a nuestro proyecto.

Cuando se realizan cálculos consecutivos con diferentes umbrales, si no hay radio lo define, ATOLL recalcula la cobertura completa para cada predicción. Si se ha definido un radio de cálculo relativamente grande, almacena en memoria los resultados para la área definida y solo calcula la diferencia entre dos predicciones.

### Características de los Modelos

Cada modelo de propagación disponible en ATOLL encaja con ciertas condiciones, frecuencias y tecnologías de radio. La siguiente tabla es un resumen de la banda de frecuencia, la información geográfica necesaria, los ajustes, y el uso recomendado de cada modelo.

| Modelo                 | Banda de frecuencia | A tener en cuenta   | Ajustes necesarios  | Uso recomendado  |
|------------------------|---------------------|---|---|--|
| Longley-Rice (Teórico) | ~ 40 MHz            | - Perfil del terreno<br>- Reflexión   | - Calibración   | - Áreas planas<br>- Frecuencias bajas                    |
| ITU 370-7 Vienna 93    | 100 – 400 MHz       | - Perfil del terreno  | - Porcentaje de tiempo donde campo real > campo calculado   | - Distancias cortas (d>10km)<br>- Frecuencias bajas      |
| ITU 526-5 (Teórico)    | 30 – 10000 MHz      | - Perfil del terreno<br>- Difracción (Método Deygout 3 knife-edge)                                      |   | - Receptores fijos                                       |
| WLL                    | 30 – 10000 MHz      | - Perfil del terreno<br>- Clutter determinista<br>- Difracción (Método Deygout 3 knife-edge)            | - Pérdidas de espacio libre<br>- Altura y margen del receptor por clutter   | - Receptores fijos<br>- Enlaces de microondas<br>- WiMAX |
| Okumara-Hata           | 150 – 1000 MHz      | - Perfil del terreno<br>- Clutter estático (en el receptor)   | - Con difracción o no<br>- Opcionalmente limitado por la pérdidas en espacio libre<br>- Pérdidas urbanas + Corrección a(Hr) | 1<d<20km<br>- GSM 900<br>- cdmaOne/CDMA2000              |
| Cost-Hata              | 1500 – 2000 MHz     | - Perfil del terreno<br>- Clutter estático (en el receptor)<br>- Una fórmula por clutter<br>- Reflexión | - Con difracción o no<br>- Opcionalmente limitado por la pérdidas en espacio libre<br>- Pérdidas urbanas + Corrección a(Hr) | 1<d<20km<br>- GSM 1800<br>- UMTS                         |

### Características de los Modelos de Propagación en Redes UMTS:

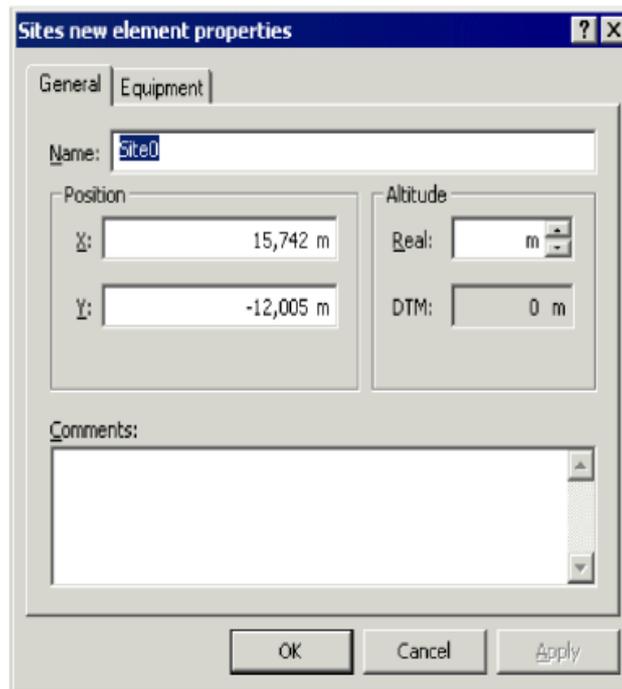
ATOLL permite crear y modificar los aspectos de redes UMTS HSPA (HSDPA y HSUPA). Una vez creada la red, ofrece multitud de herramientas para verificar la red. Basándonos en los resultados de los tests, podemos modificar cualquier parámetro definido en la red.

|                            |               |   |   |   |
|----------------------------|---------------|---|---|---|
| ITU 529-3                  | 300-1500 MHz  | - Perfil del terreno<br>- Clutter estático (en el receptor)<br>- Una fórmula por clutter<br>- Altura efectiva de la antena<br>- Reflexión | - Con difracción o no<br>- Opcionalmente limitado por la pérdidas en espacio libre<br>- Pérdidas urbanas +<br>Corrección a(Hr)<br>- Corrección de fórmula en distancia (d>20km)   | 1<d<100km<br>- GSM 900<br>- cdmaOne/CDMA2000  |
| Standard Propagation Model | 150-3500 MHz  | - Perfil de terreno<br>- Clutter estática<br>- Altura efectiva de antena  | - K1, ..., K6(única fórmula)<br>- Diferenciación LOS o NLOS con anchura de difracción<br>- Opcionalmente limitado por la pérdidas en espacio libre<br>- Pérdidas por clutter con clutter ensanchada<br>- Margen de receptor | 1<d<20 km<br>- GSM 900<br>- GSM 1800<br>- UMTS<br>- cdmaOne/CDMA2000<br>- WiMAX (calibración automática disponible) |
| Erceq                      | 1900-6000 MHz | - Perfil del terreno<br>- Clutter estática (en el receptor)<br>- Una fórmula por clutter<br>- Reflexión                                   | - Con difracción o no<br>- Opcionalmente limitado por la pérdidas en espacio libre<br>- Factores de corrección a(Hb) y a(Hr) para altura de estación base y receptor  | 100 m<d<8 km<br>- WiMAX   |

Procedimiento completo para crear una estación base.

- Se crea un emplazamiento en UMTS solo se realiza un punto geográfico, al debemos añadir los transmisores y las celdas más tarde. Al emplazamiento, con los transmisores, las antenas, equipamiento y celdas es conocido como estación base.

## Creación de un Nuevo Emplazamiento



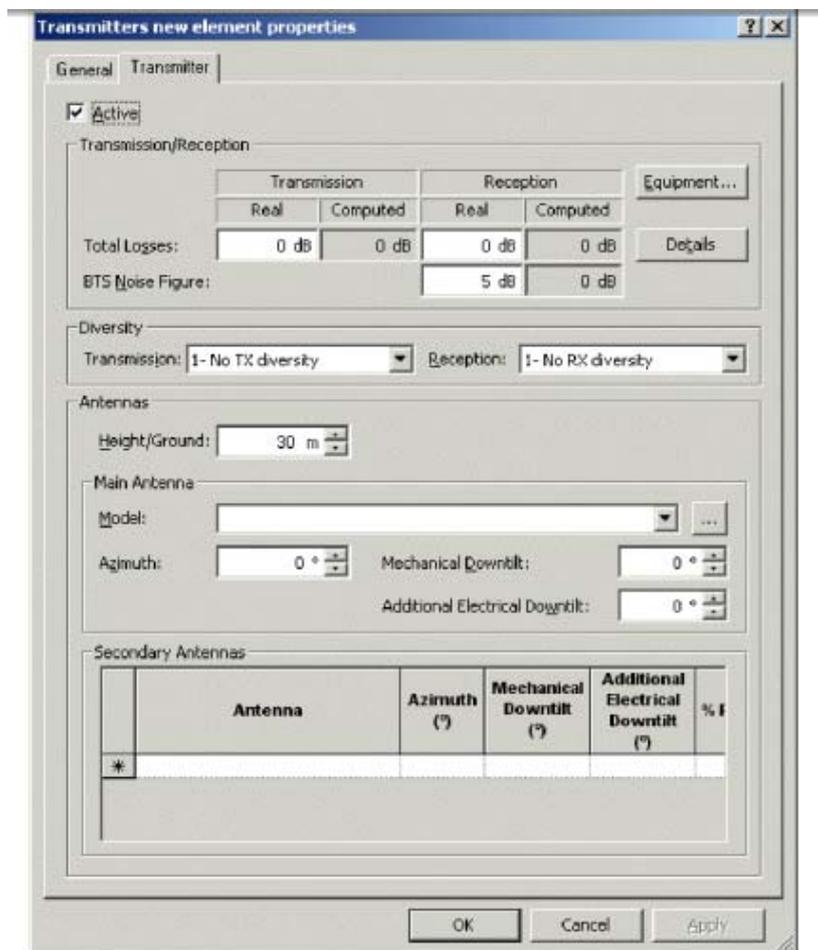
En la pestaña general definimos el nombre, coordenadas, altitud real (La altitud dada por el DTM no se puede modificar) y comentarios del nuevo emplazamiento. También podemos usar el ratón para colocarlo en el lugar que queramos (no será tan preciso como usando coordenadas).

En la pestaña de equipamiento se especificarán el máximo número de canales físicos del emplazamiento tanto en ascendente como en descendente (por defecto introduce el máximo posible, 256) pudiendo elegir el equipamiento de una lista. Si no asignamos ningún equipo, se considerarán los valores por defecto:

- Rake efficiency factor = 1
- MUD factor = 0
- Carrier selection = UL minimun noise
- Overhead Ces downlink and uplink = 0

Uso de un canal ascendente o descendente para cada servicio durante la simulación de control de potencia.

## Descripción del Transmisor



En la pestaña general podemos modificar el nombre, el emplazamiento en el que está colocado el nuevo transmisor, la banda de frecuencia y la posición relativa del emplazamiento.

En la pestaña del transmisor podemos activar o desactivar el transmisor, ver las pérdidas totales y la figura de ruido, asignar el equipamiento adecuado (TMA, alimentador, BTS ...), el tipo de diversidad de la lista de transmisión y recepción. Por último podemos definir los parámetros de las antenas: altura (se añade a la DTM), antena principal y secundarias.

### Descripción de la Celda:

Un transmisor tiene una celda por cada portadora. La celda es un mecanismo con el que podemos configurar una red UMTS multiportadora.

Al momento de configurar una celda, tenemos multitud de parámetros, típicos como nombre, número de la portadora... y otros más específicos relacionados con potencia, canales de sincronización, umbrales, vecindades de portadoras, etc.

### **Colocar una Nueva Estación Usando una Plantilla:**

Creamos una red colocando estaciones basadas en plantillas; esto nos permite construirla rápidamente con parámetros consistentes, en vez de ir colocando primero los emplazamientos, los transmisores y por último las celdas.

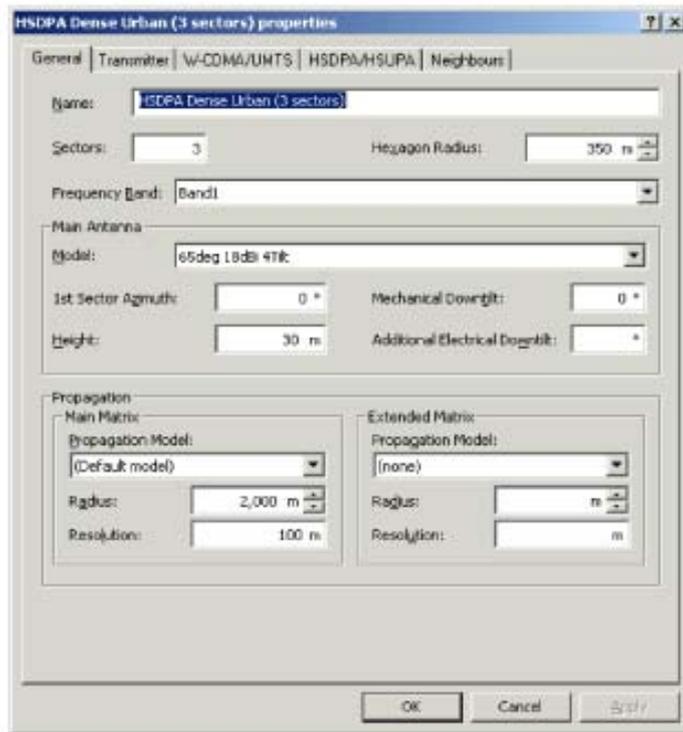
Colocamos una sola estación usando el botón New Station de la barra de herramientas Radio o definiendo el área y se calculara el lugar para cada estación de acuerdo con el radio hexagonal de la celda, el cual se realiza mediante el botón Hexagonal Design de la barra de herramientas.



### **Barra de Herramientas Radio**

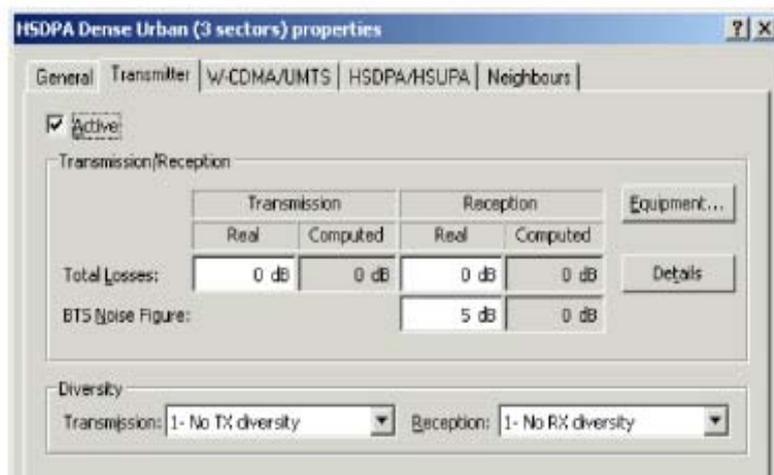
Nos da la opción de manejar las plantillas de estación, accediendo a las propiedades y creando una desde cero o copiar una existente y modificar sus parámetros. Es mejor hacer esto a modificar directamente una plantilla existente.

### Plantilla de Propiedades de una Estación (General)



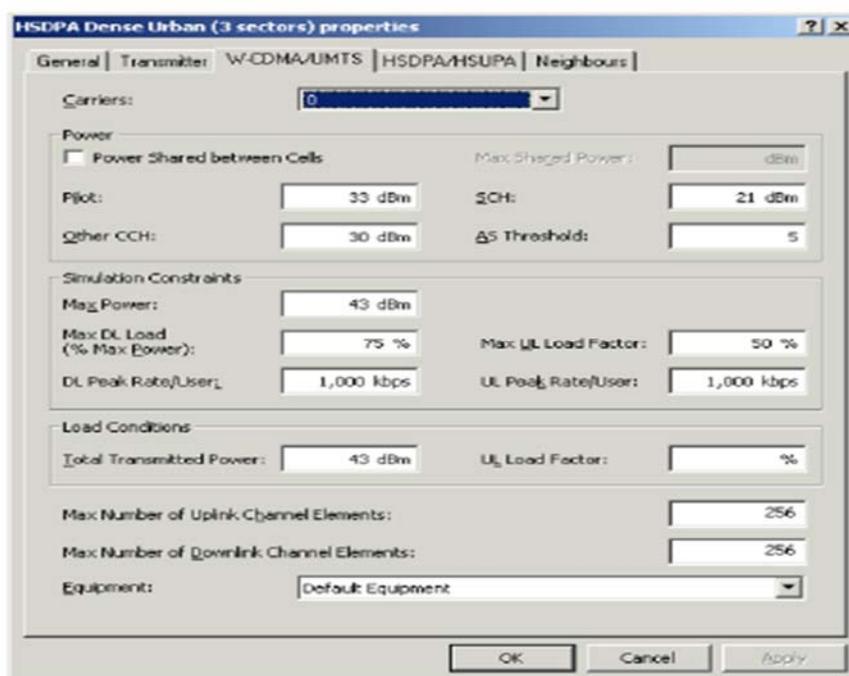
Podemos modificar el nombre, número de sectores de cada transmisor y el radio hexagonal; elegir la antena principal y modificar algunos parámetros. También el modelo de propagación para la matriz principal y la extendida (tipo de modelo, radio y resolución).

### Plantilla de Propiedades de Estación (Transmisor)



En la pestaña de transmisor, se puede elegir el equipamiento (TMA, alimentador, BTS) de transmisores y receptores. Las pérdidas son calculadas a partir de la información de las especificaciones del equipo, que podemos incluirlas. Podemos modificar el valor cálculo de la figura de ruido de la BTS. La última opción de esta pestaña es la diversidad de las listas de transmisión y recepción

### Plantilla de Propiedades de una estación (W-CDMA/UMTS)



En ellas se modifica el número de portadoras, potencia compartida entre celdas, limitaciones de la simulación (potencia máxima, factores de carga,...), condiciones de carga y número de canales del equipo seleccionado.

En la pestaña HSDPA/HSUPA podemos cambiar características como tipo de estrategia de asignación (estática (la potencia HSDPA) o dinámica (la máxima potencia compartida)), el número mínimo y máximo de códigos, la potencia de espacio libre, el algoritmo, el número máximo de usuarios.

## Plantilla de Propiedades de una estación Neighbours

En la pestaña neighbours (celdas vecinas) se transforma el número máximo de intra- e inter-portadoras vecinas y el número máximo de inter-tecnologías vecinas.



## Análisis del Punto para Estudiar el Perfil

Para estudiar la recepción a lo largo del perfil entre un transmisor y un usuario UMTS. Se calcula en tiempo real, usando el modelo de propagación, permitiendo estudiarlo sin calcular las matrices de pérdidas del camino.

Para realizar un análisis puntual elegimos el transmisor del que queremos hacer dicho análisis. Luego hacer click en la Point Analysis Tool ( ) en la Radio Toolbar. Tras pulsar en este botón el cursor cambiará ( ) para representar el receptor.

Una vez elegida la situación del receptor, aparecerá la pestaña de perfil (profile tab), donde en el eje vertical se mostrará la altitud (en metros) y la distancia entre el receptor y el transmisor en el eje horizontal. Una elipse azul indica la zona de Fresnel entre transmisor y receptor; con una línea verde se indica la line of sight (LOS). Si la señal se encuentra un obstáculo, se muestra una línea roja que indica la atenuación con difracción.

## CAPÍTULO 3

### SIMULACION DE RADIOPROPAGACION

#### 3.1 Entorno del Proyecto

En este capítulo se realiza la planificación y diseño una red de comunicaciones móviles para brindar servicios de extensión de cobertura en la comunidad de la Calzada del Departamento de Granada.

Para ello se empleará la herramienta software de planificación y simulación radioeléctrica Atoll, desarrollada por la empresa FORSK. Con la ayuda de esta herramienta se determinarán los parámetros de diseño de la red y se realizarán las simulaciones pertinentes para verificar que se han alcanzado los objetivos de calidad.

Hoy día ya no se concibe la realización manual o mediante alguna programación de todos los cálculos necesarios para la planificación radioeléctrica tal y como se describía en el capítulo 2 de este documento. En un entorno profesional se recurre siempre a herramientas informáticas de planificación, salvo casos muy simplificados.

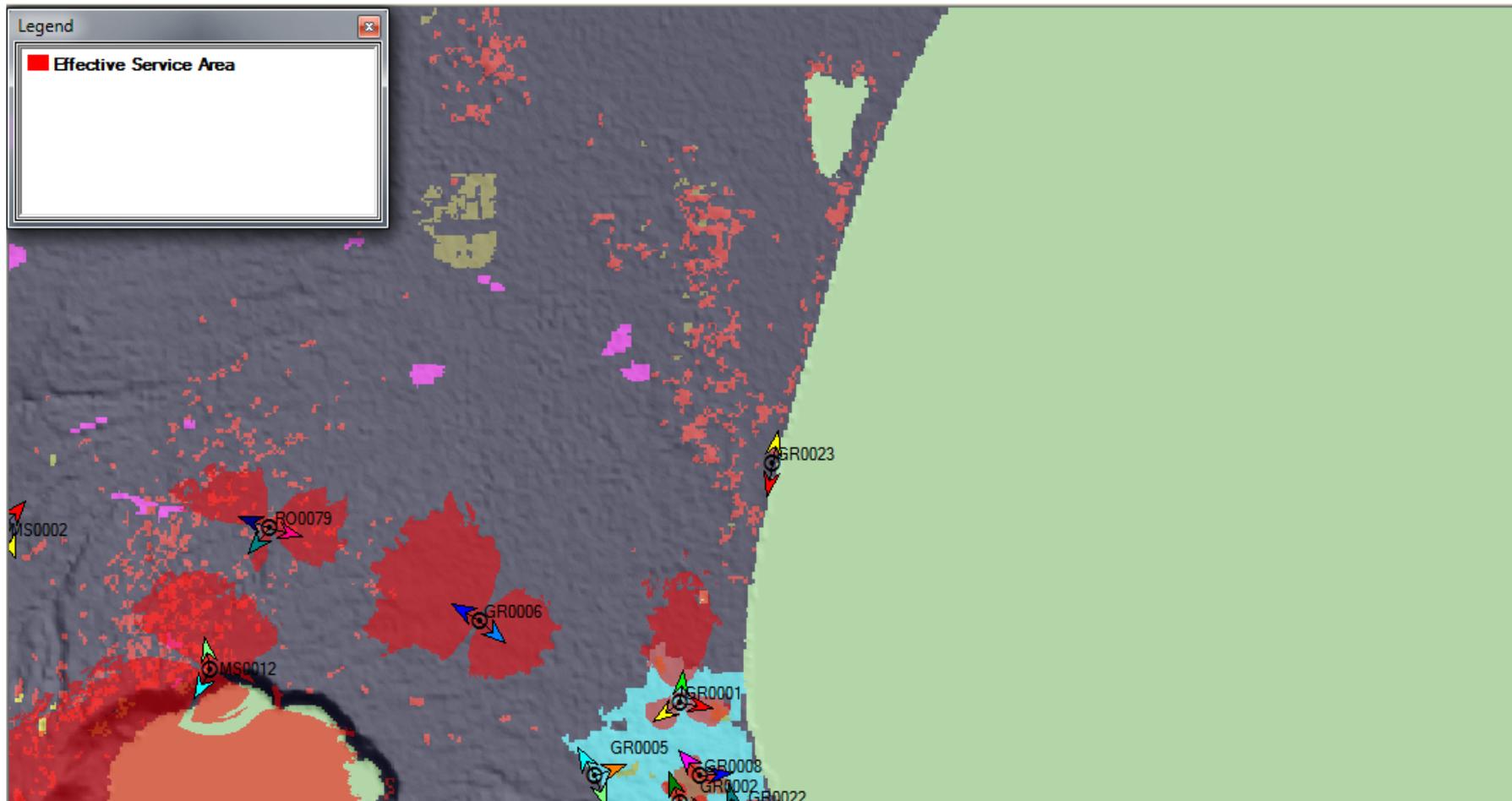
ATOLL es un entorno de planificación radio basado en ventanas, fácil de usar, que da soporte a operadores de telecomunicaciones inalámbricas durante todo el tiempo de vida de la red. Desde el diseño inicial, hasta la fase de optimización y durante las distintas ampliaciones.

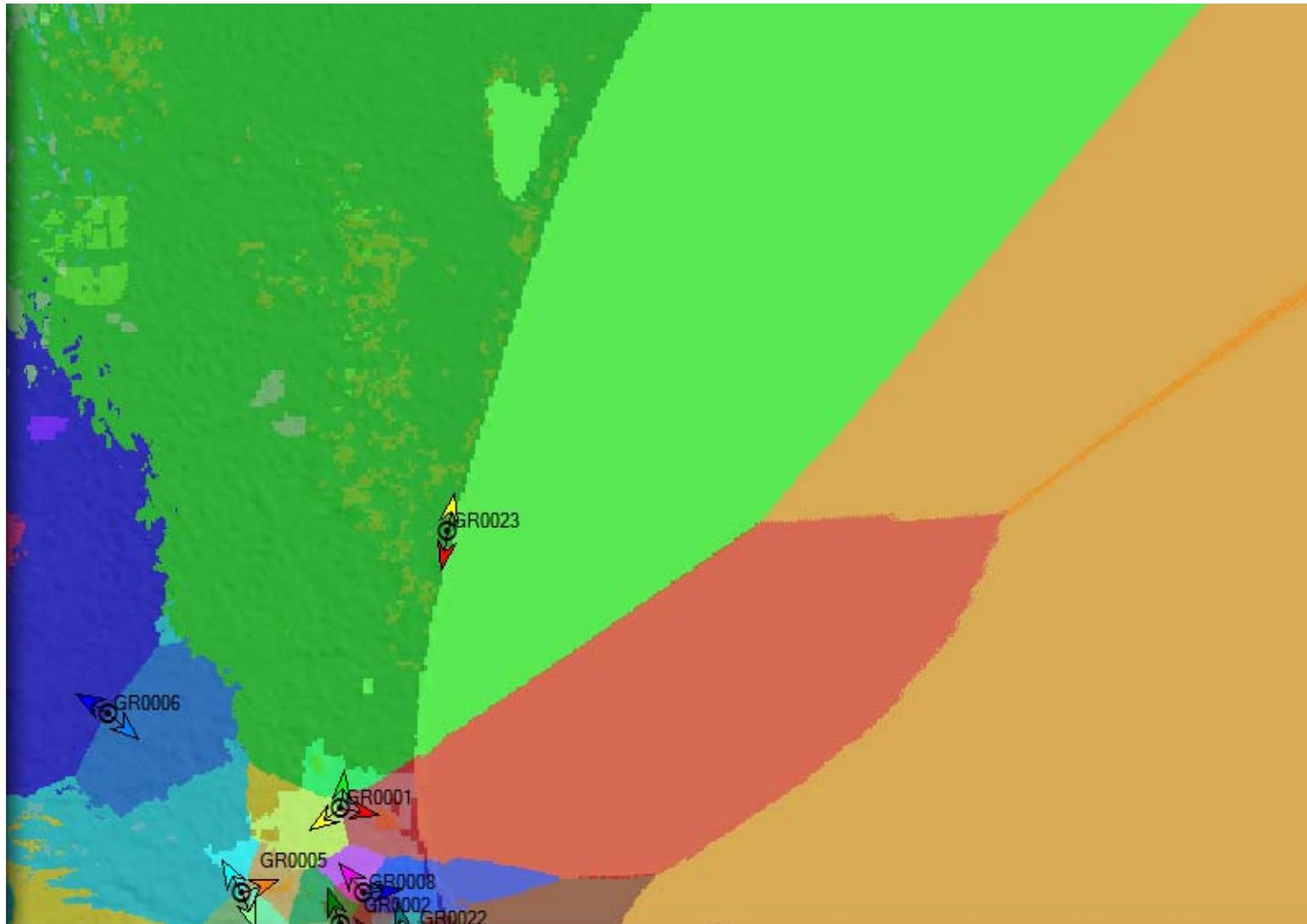
Más que una herramienta de ingeniería, ATOLL es un sistema de información técnico abierto, escalable y flexible que puede integrarse fácilmente en otros sistemas de telecomunicaciones, aumentando la productividad y reduciendo los tiempos de desarrollo.

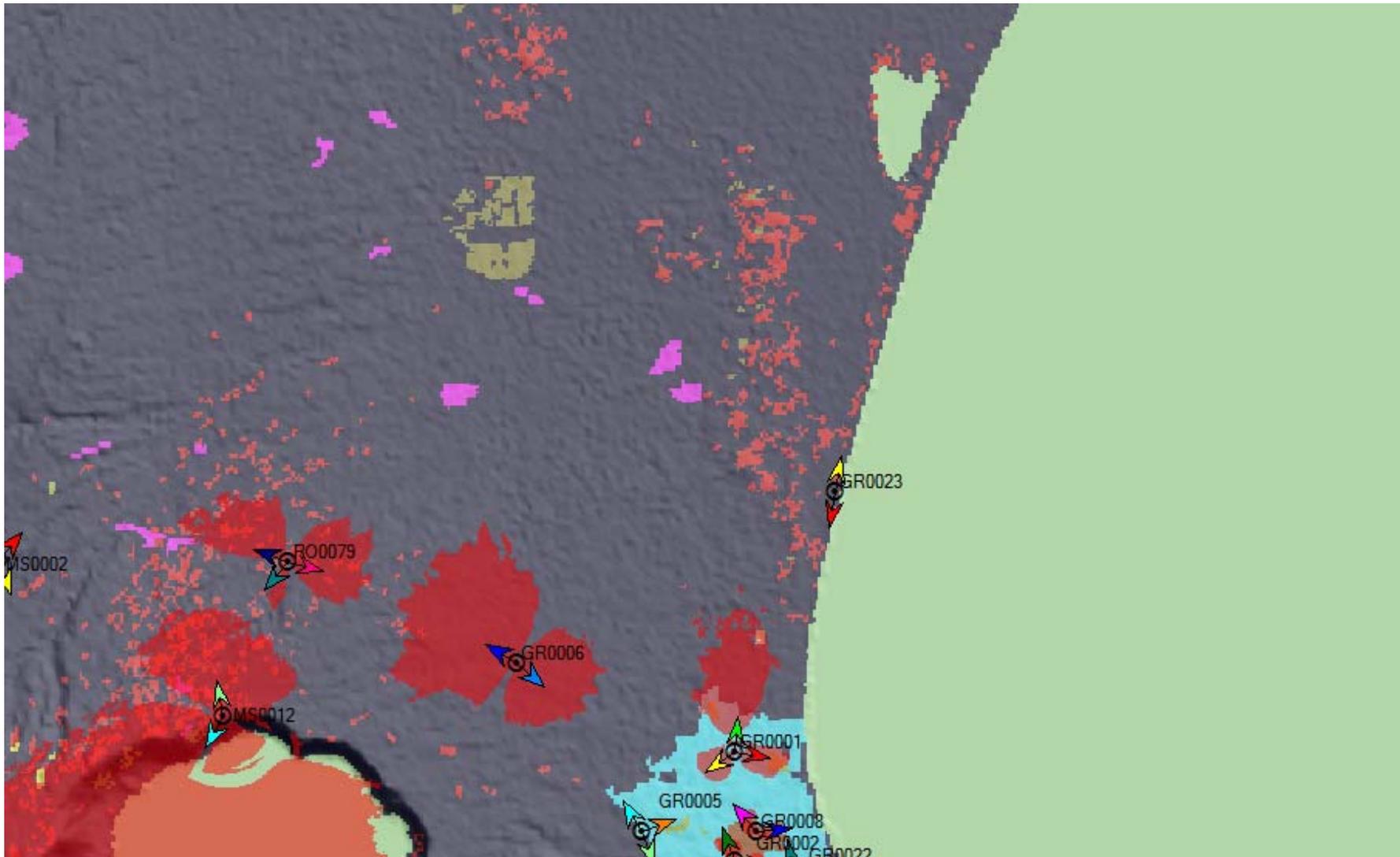
Como hemos podido determinar en este Proyecto, la colocación de un repetidor, en la comunidad La Calzada en el Departamento de Granada, tiene como objetivo principal el proporcionar una solución altamente eficiente de ampliación de cobertura en la red celular GSM, brindando a la comunidad un servicio de telefonía celular continuo y en todo lugar.

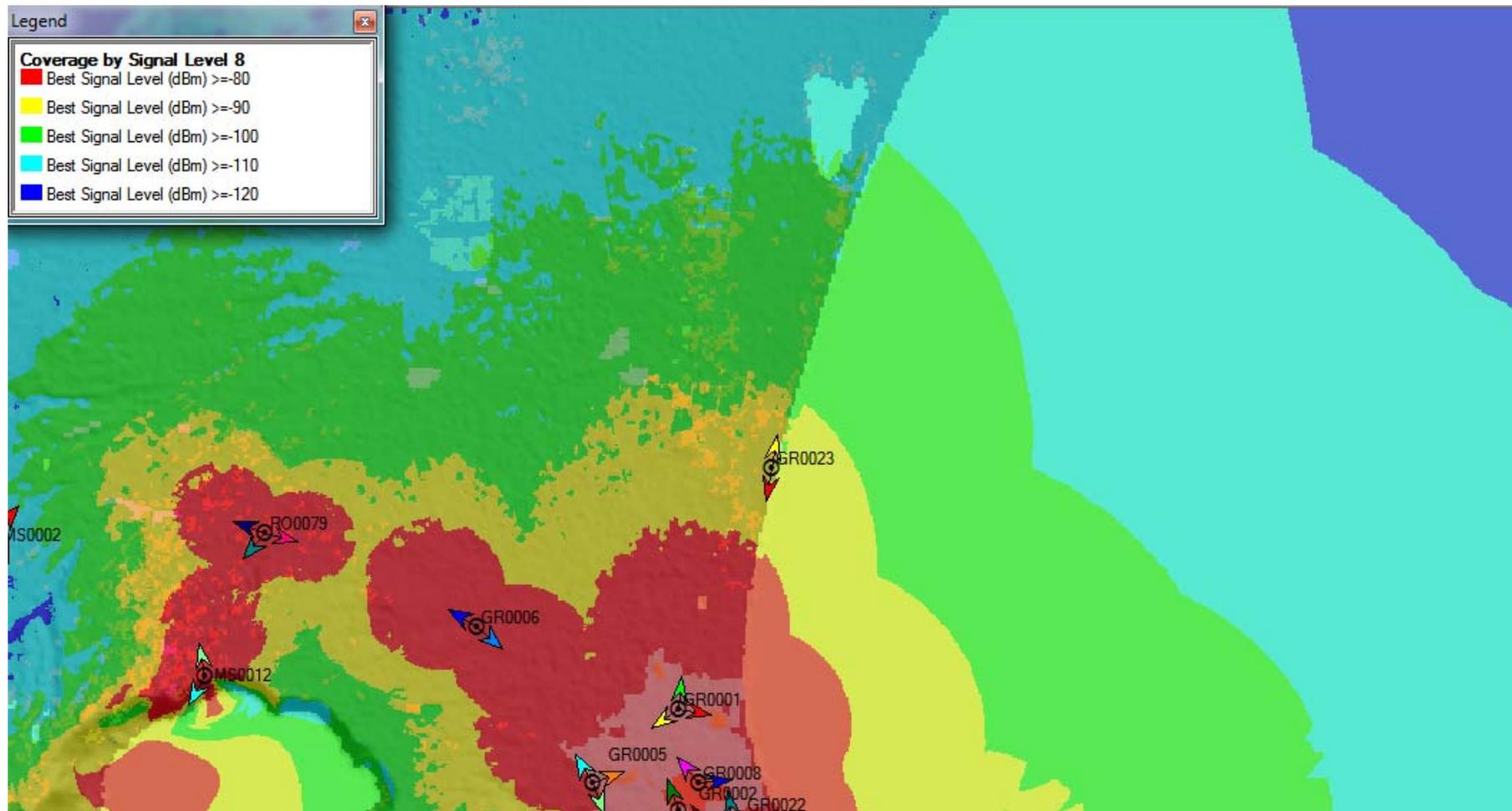
De igual forma, los equipos que se utilizan para el desarrollo del proyecto, necesitan cumplir con todos los requerimientos técnicos necesarios para brindar, con eficiencia, cobertura celular parte de la comunidad objeto de estudio.

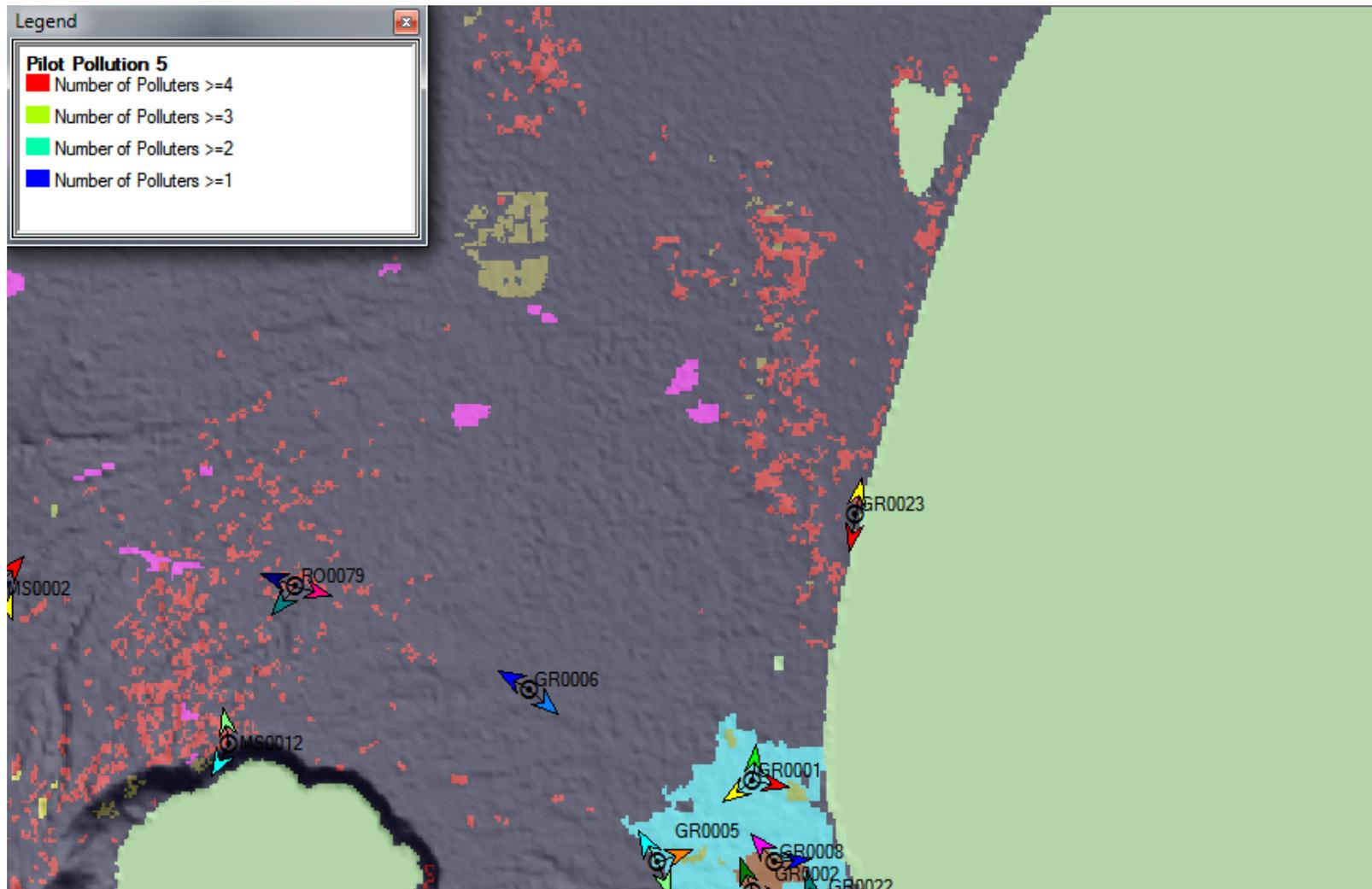
### 3.2 Plots Simulaciones Área Respecto al Sitio

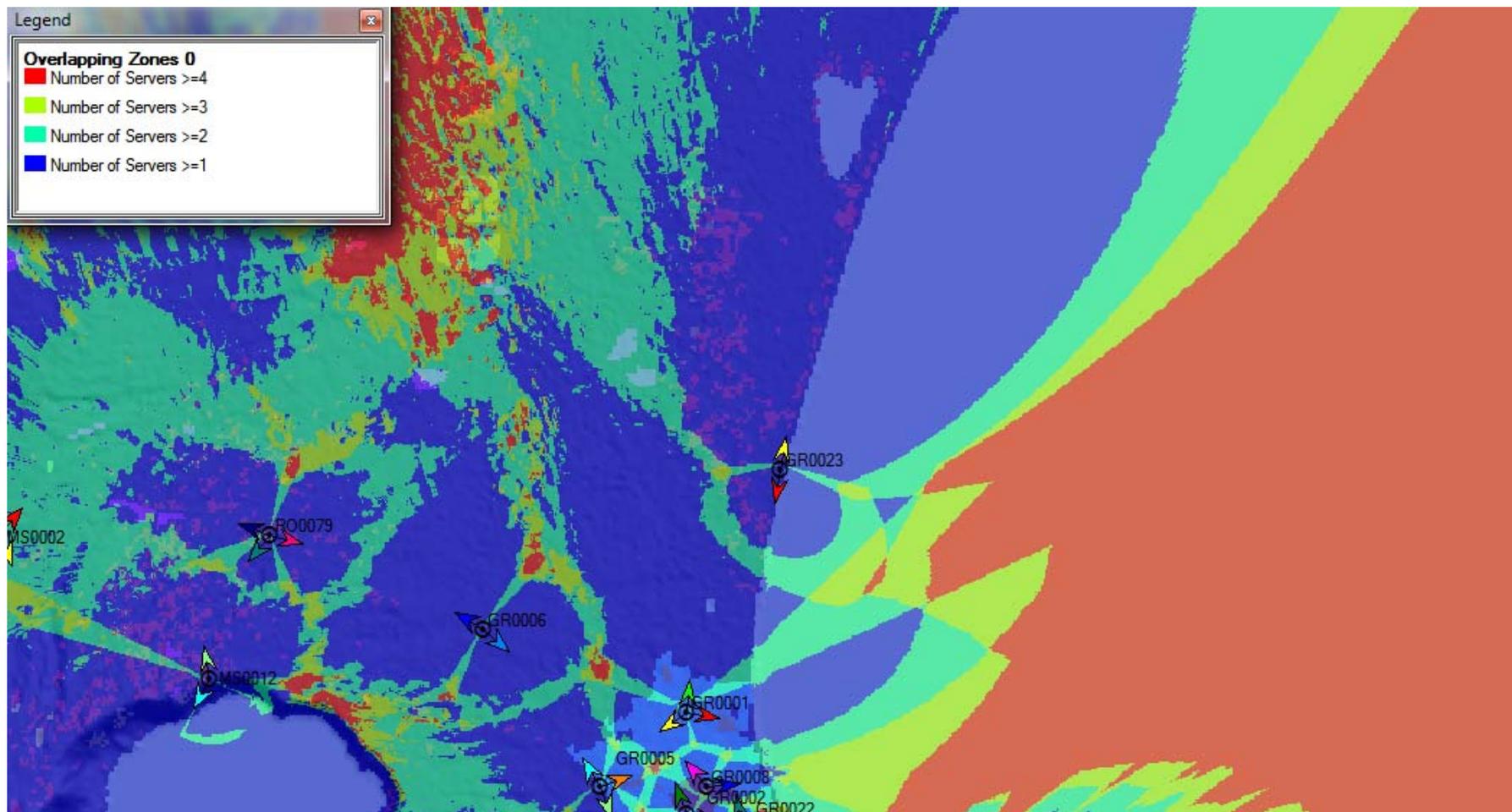




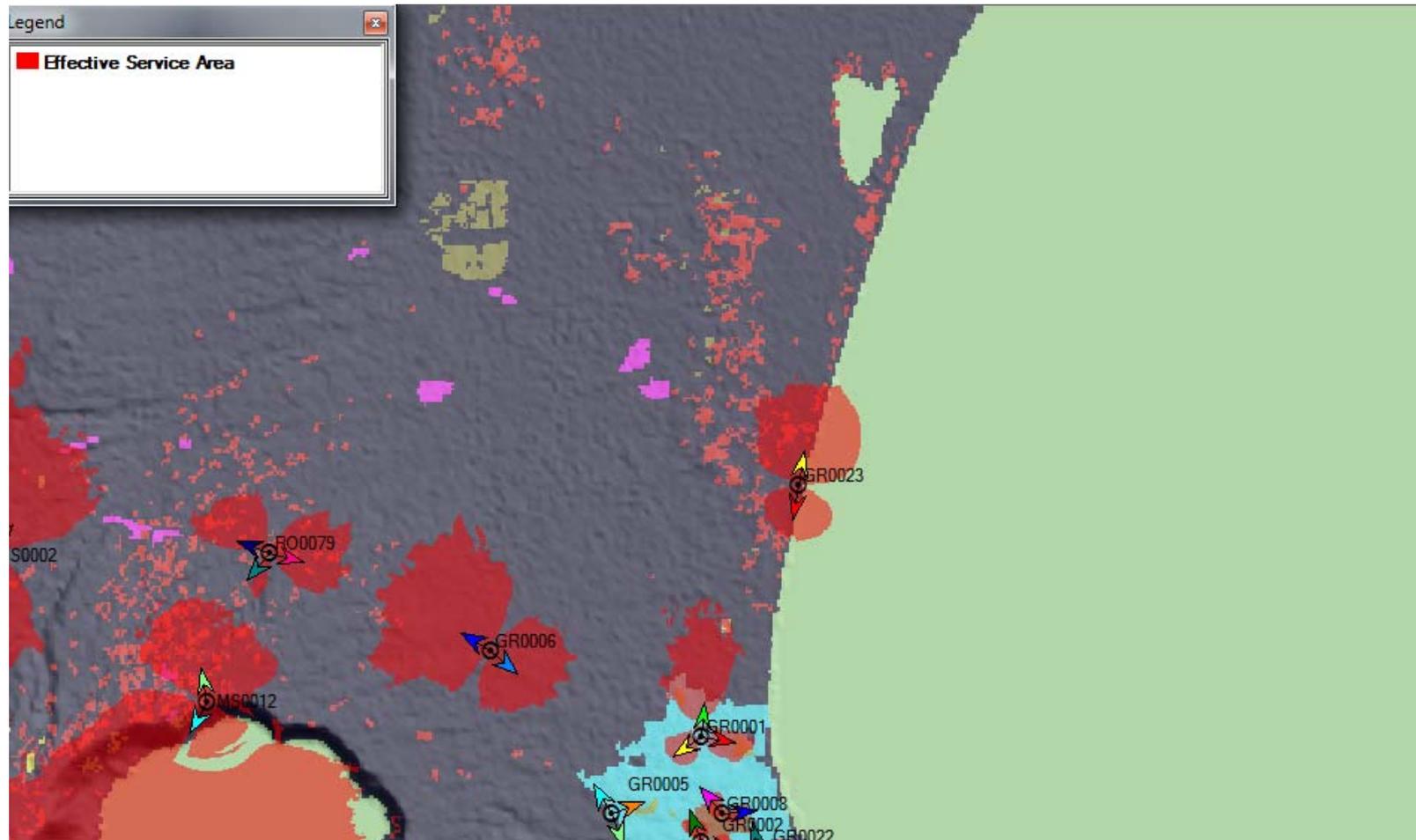


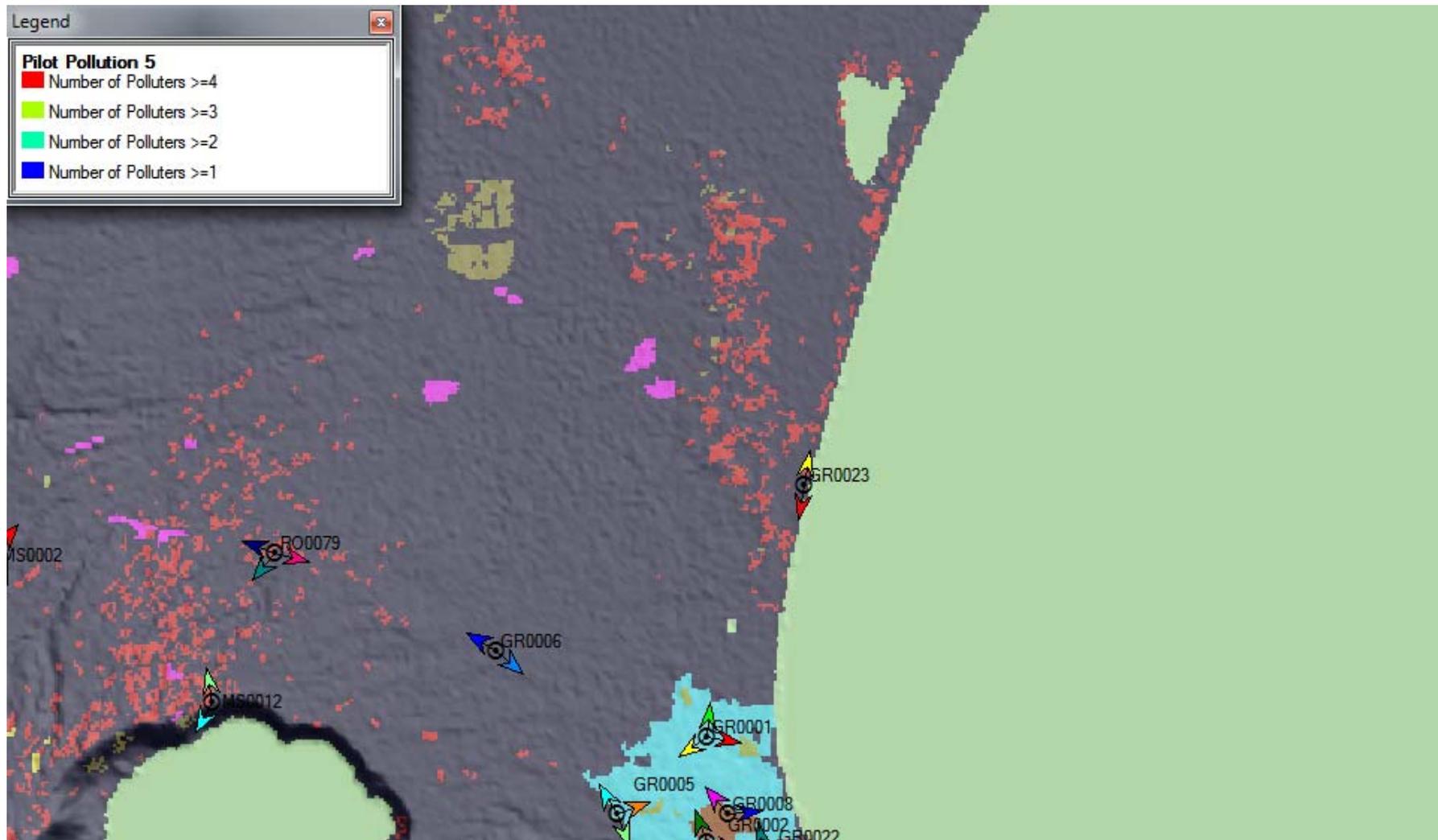


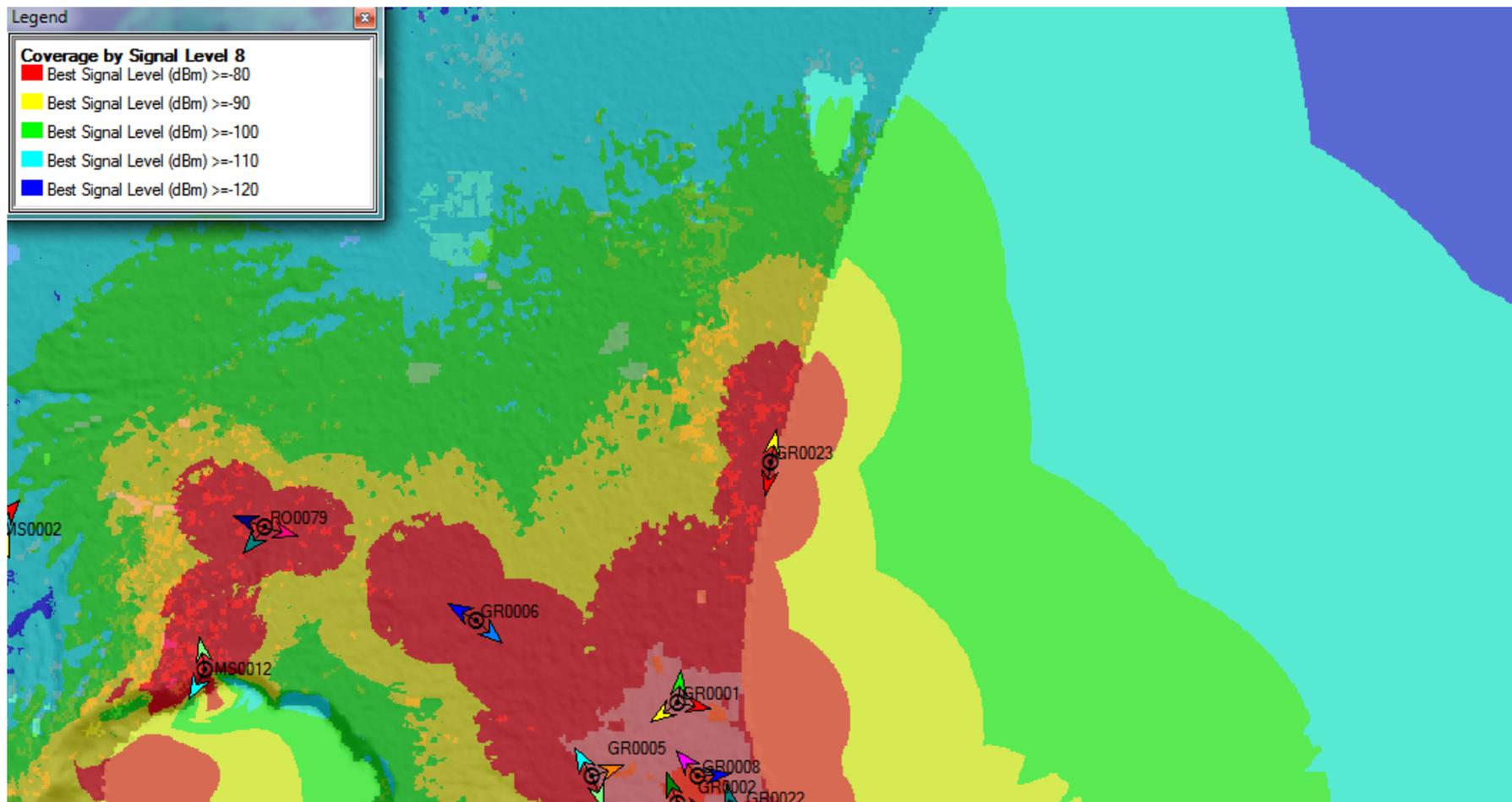


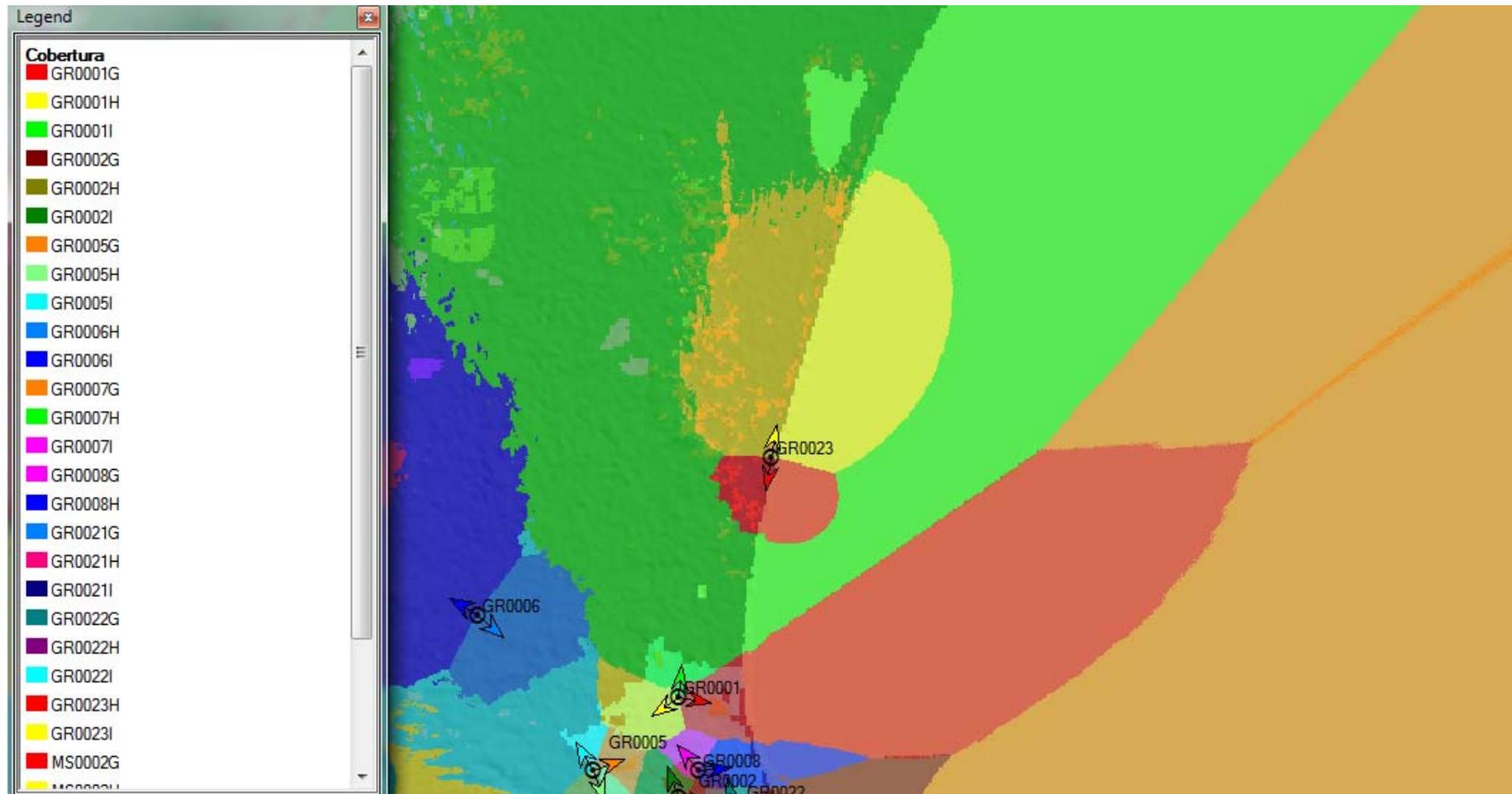


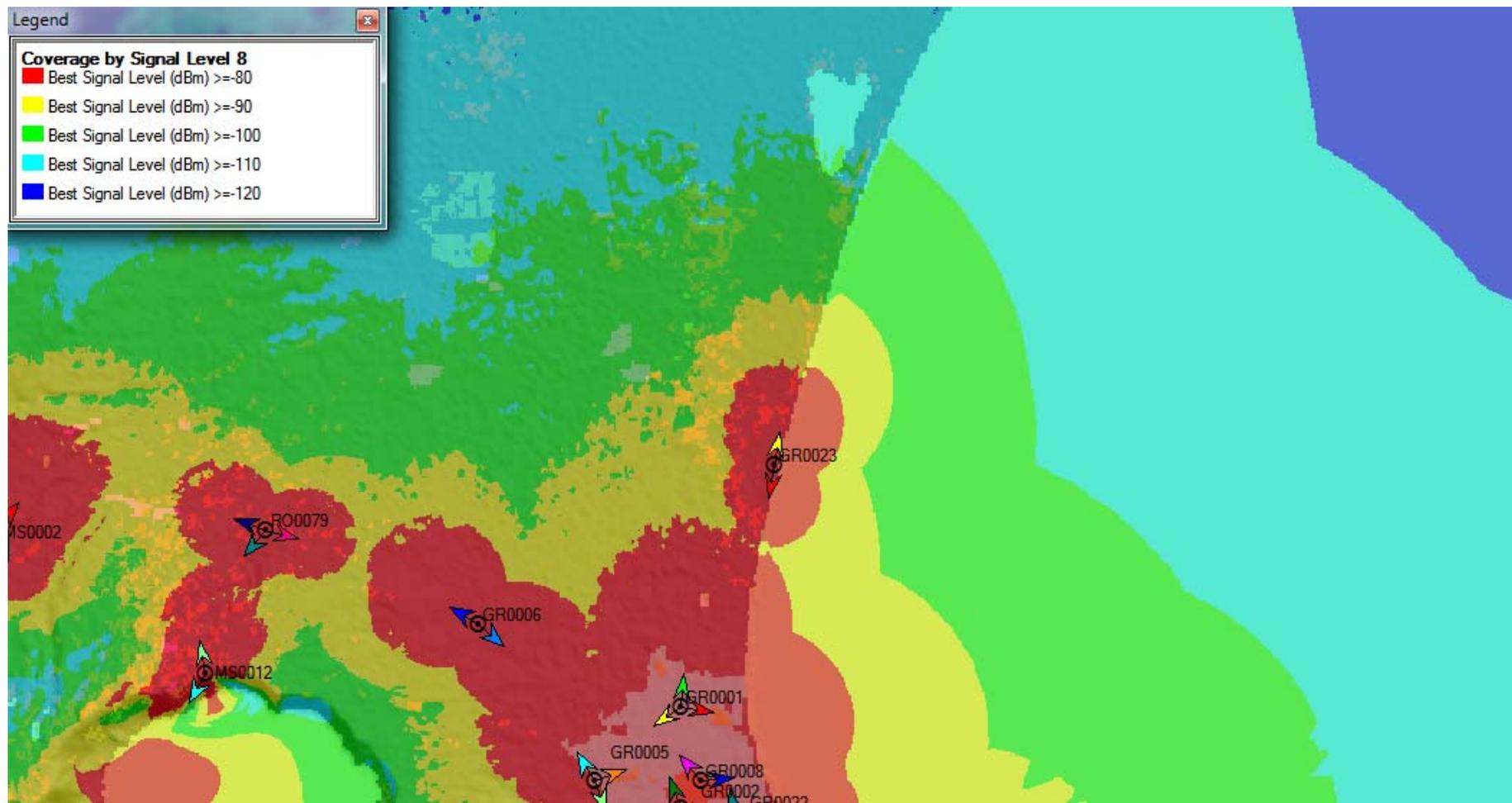
### 3.3 Plots Simulaciones en el Sitio

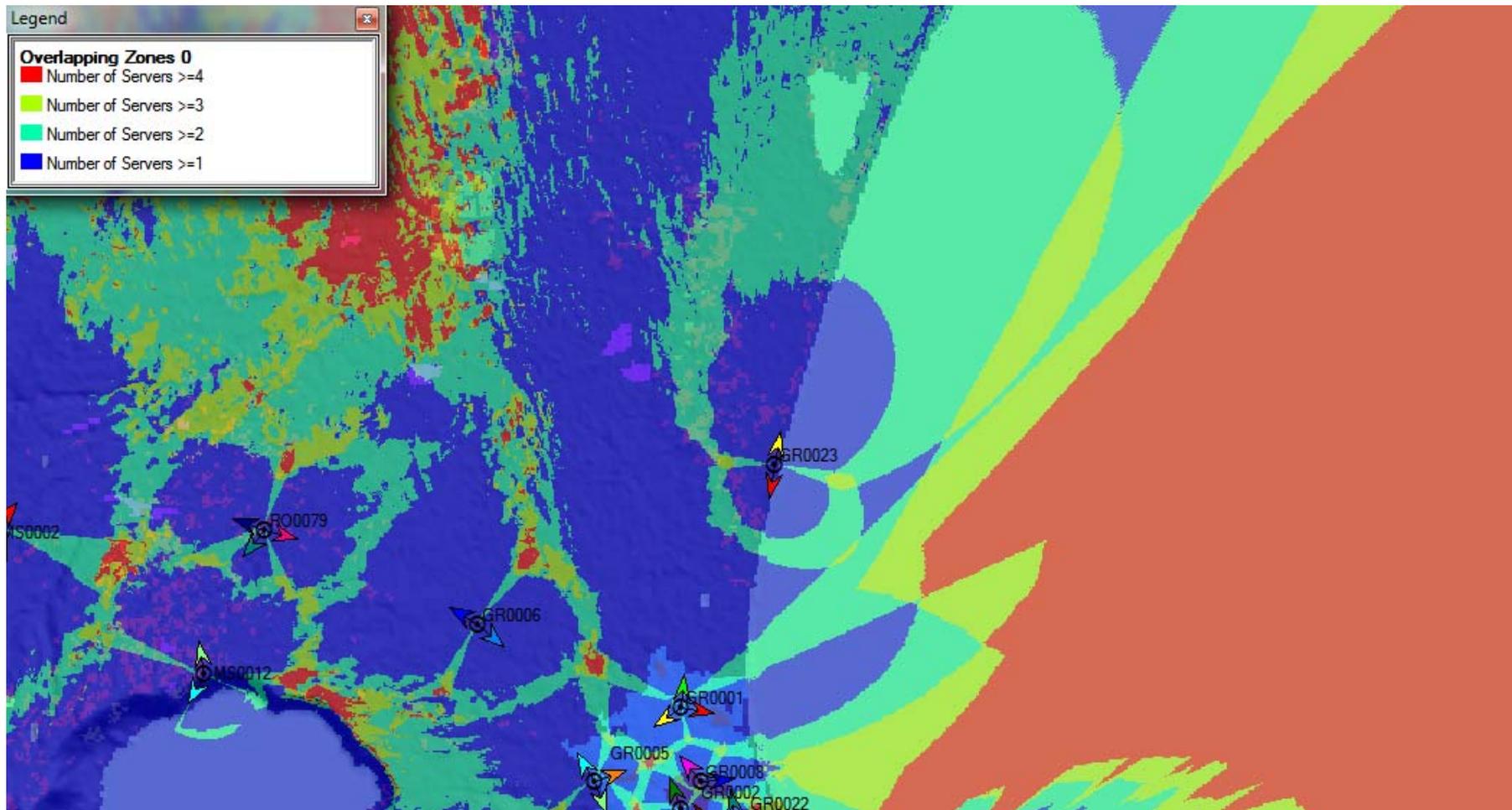


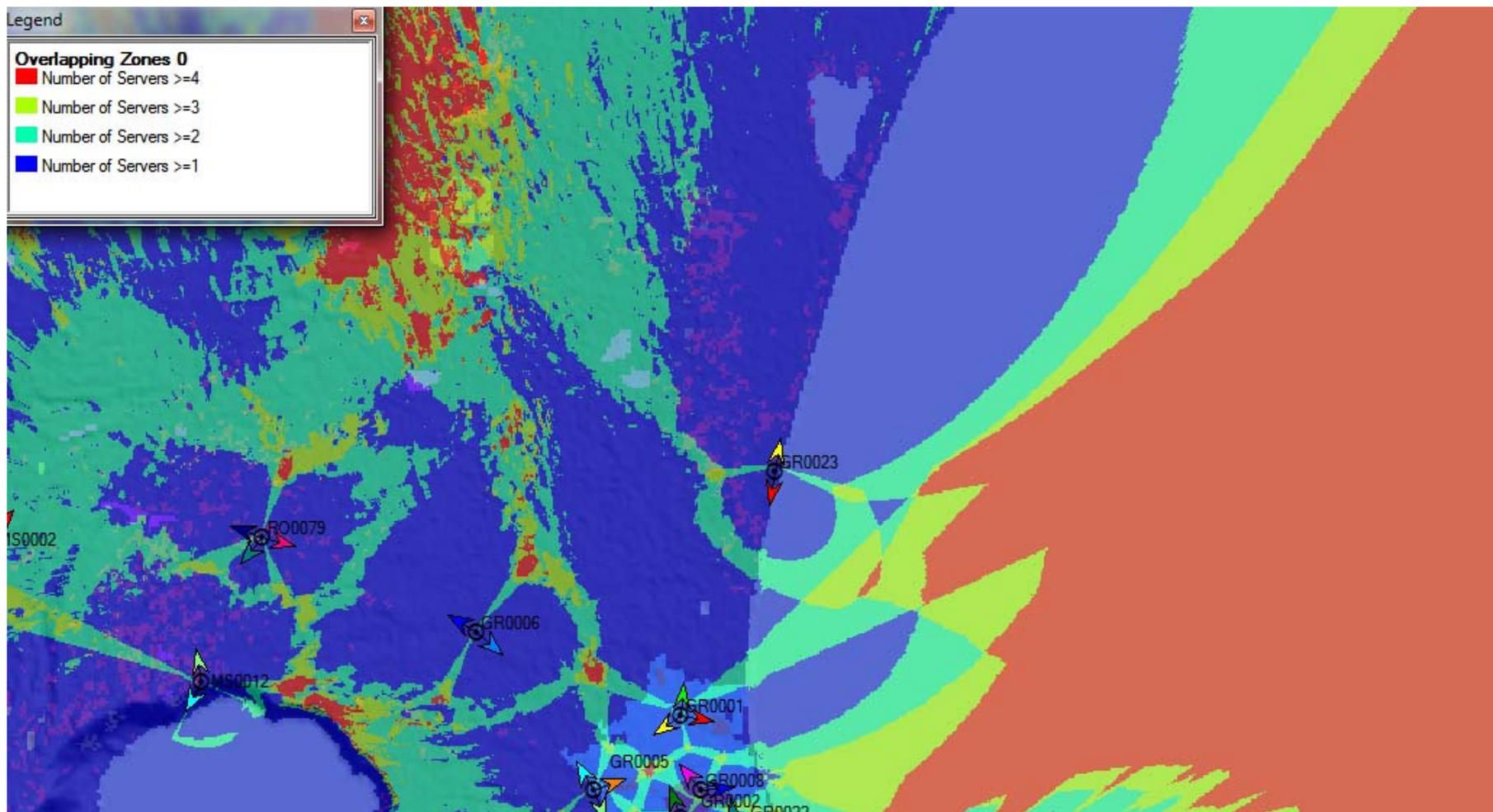












## CONCLUSIONES

En Nicaragua, la demanda de los abonados de las empresas de telefonía celular está creciendo rápidamente y las operadoras necesitan satisfacer esas necesidades a gran velocidad, incrementando su cobertura por más lugares en el país. Es por eso que las empresas buscan dar soluciones rápidas y eficientes para poder brindar un buen servicio a sus clientes.

Una solución viable y de rápida instalación es la colocación de repetidores, ya que estos permiten ampliar la cobertura celular en donde la señal de una BTS no llega, con mucha más rapidez y con un bajo presupuesto.

Los repetidores han ayudado a crear zonas de cobertura periférica a las estaciones base existentes y a obtener velocidades de despliegue altas frente a soluciones convencionales, proporcionando una solución altamente eficiente al momento de ampliar cobertura en carreteras, ciudades o dentro de edificaciones en las que no se obtiene una buena calidad de señal.

La implementación del repetidor en la comunidad La Calzada en el Departamento de Granada, ayudara a que la calidad de la cobertura existente, mejorando la calidad de las señales, cubriendo toda la zona de dicha comunidad y lugares aledaños en donde no existía cobertura de señal de telefonía celular.

El servicio que brinda el repetidor celular es transparente para el sistema y para el usuario, ya que todos los comando de monitoreo y señalización lo realiza directamente la BTS. El repetidor simplemente amplifica la señal emitida por la BTS y lo transmite con mayor potencia hacia el móvil, permitiendo así el área de cobertura se extienda mucho más.

El área de cobertura que añade un repetidor a una BTS es aproximadamente 1 kilómetro creando así un gran sector de cobertura. Como se pudo observar en las predicciones de cobertura, presentadas en el capítulo 3.

Los programas de predicción, como Atoll, son una de las mejores herramientas de trabajo para la planificación de redes, ya que ayudan a identificar qué parámetros se deben considerar al momento de implementar un repetidor. Al igual que permiten tener una visión más clara de las zonas que se requiere cubrir y cuáles serían los niveles de señal que recibirían estos sectores.

## BIBLIOGRAFIA

1. Transmisión por radio, 4ta edición, José María Hernando Rábanos
2. Comunicaciones móviles, 2da edición, José María Hernando Rábanos
3. Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications by Shinsuke Hara
4. John.Wiley.and.Sons.WCDMA.for.UMTS.Radio.Access.for.Third.Generation.Mobile. Communications.Sep.20

## Websites

1. [http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil\\_4G](http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G)
2. <http://www.taringa.net/posts/info/1049324/Tecnologia-movil-3g-y-4g.html>
3. <http://es.wikipedia.org/wiki/3G>
4. <http://www.sobrecelulares.com/noticias-celulares/4g-que-es-la-tecnologia-4g/>
5. <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8972/memoria.pdf>
6. <http://es.scribd.com/doc/79046388/19/Seleccion-de-CELDA>
7. <http://www.monografias.com/trabajos40/radiopropagacion/radiopropagacion.shtml>
8. [http://www.eclac.cl/mexico/competencia/nicaragua/documentos/Serie\\_101.pdf](http://www.eclac.cl/mexico/competencia/nicaragua/documentos/Serie_101.pdf)
9. [http://profesores.usfq.edu.ec/renej/Contenidos%20Comunicaciones%20Moviles/Apuntes%20Comunicaciones%20Móviles/Móviles\\_6.pdf](http://profesores.usfq.edu.ec/renej/Contenidos%20Comunicaciones%20Moviles/Apuntes%20Comunicaciones%20Móviles/Móviles_6.pdf)
10. [http://www.subtel.gob.cl/prontus\\_subtel/site/artic/20070503/asocfile/20070503153725/8\\_estudio\\_3g.pdf](http://www.subtel.gob.cl/prontus_subtel/site/artic/20070503/asocfile/20070503153725/8_estudio_3g.pdf)
11. <http://www.slideshare.net/oemontiel/redes-celulares>