

**IMPLEMENTACIÓN EN JAVA DEL MODELO DE PROPAGACIÓN ANDINO  
UIS® PARA PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE REDES CELULARES SOBRE  
CELLGIS**

**JOHN CAMILO SOLANO ARENAS  
LEONARDO ANDRES JAIMES FAJARDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2008**

**IMPLEMENTACIÓN EN JAVA DEL MODELO DE PROPAGACIÓN ANDINO  
UIS® PARA PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE REDES CELULARES SOBRE  
CELLGIS**

**JOHN CAMILO SOLANO ARENAS  
LEONARDO ANDRES JAIMES FAJARDO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electrónico**

**Director  
Ph.D. Homero Ortega Boada**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2008**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirnos tantas oportunidades. A todas las personas que apoyaron y participaron en la realización de este proyecto de grado, especialmente a nuestro director por su respaldo incondicional y por los valiosos aportes académicos y de formación personal compartidos durante la realización de este trabajo. Al Grupo RadioGIS, por acogernos en el grupo y por la solidaridad constante que nos brindaron. A nuestros familiares y amigos, por su presencia, respaldo y optimismo, que nos impulsaron a perseverar en la realización de nuestro trabajo de grado. A la Universidad Industrial de Santander y la escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones por las bases que nos brindaron en la formación personal y profesional.

*Dedico este trabajo a Dios y a toda mi familia, en especial a mi Padres y Hermanos, quienes siempre me acompañaron y motivaron durante mi carrera. A ellos les debo mi Responsabilidad, Compromiso y Liderazgo.*

**JOHN CAMILO SOLANO ARENAS**

*Dedico este trabajo a Dios y a mi Madre quien ha sido incondicional durante este pequeño paso en ese largo camino que representa la vida, a mis hermanos por su apoyo y animo en los momentos difíciles. A mis amigos por su apoyo.*

**LEONARDO ANDRÉS JAIMES FAJARDO**

## CONTENIDO

	<b>Págs.</b>
11. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO. ....	5
2. HERRAMIENTAS DE PLANIFICACION DE REDES CELULARES .....	6
2.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (GIS).....	6
2.1.1. <i>Información vectorial</i> .....	7
2.1.2. <i>Información matricial</i> .....	8
2.2 SISTEMA DE COORDENADAS UTM (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR).....	10
2.3 HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN CELLVIEW <sup>®</sup> SOBRE ARCVIEW 3.1. ....	11
2.4 HERRAMIENTA PARA ANALISIS Y PLANIFICACIÓN DE REDES CELULARES CELLGIS.....	13
2.4.1 <i>CARACTERISTICAS DE LA APLICACIÓN</i> .....	14
2.4.1.1 Portabilidad.....	14
2.4.1.1.1 Lenguaje de desarrollo.....	14
2.4.1.1.2 Documento del proyecto.....	15
2.4.1.1.3 Archivo del proyecto.....	16
2.4.1.2 Reusabilidad.....	16
2.4.2 <i>ESTRUCTURA DEL ARCHIVO DEL PROYECTO</i> .....	17
2.4.2.1 Especificaciones del documento XML.....	18
3. MODELO DE PROPAGACION ANDINO-UIS <sup>®</sup> .....	26
3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	27
3.1.1 <i>COST231-Walfisch-Ikegami</i> .....	27
3.1.2 <i>Convergencia de vías</i> .....	32
3.1.2.1 Integral de Fresnel.....	41
3.1.3 <i>Modelamiento del terreno</i> .....	42
3.1.3.1 Difracción por filo de cuchillos.....	42
3.1.3.2 Difracción por cilindros.....	43

3.1.4	<i>Consideraciones planteadas por el Modelo Andino UIS</i> .....	44
3.2	ANÁLISIS ANDINOUIS® .....	45
4.	MODELO DE PROPAGACION ANDINO UIS EN JAVA IMPLEMENTADO EN CELLGIS .....	54
4.1	INTERFACES .....	55
4.1.1	<i>Interfaz Mapa</i> .....	55
4.1.2	<i>Interfaz Cobertura</i> .....	59
4.1.3	<i>Interfaz Modelo</i> .....	62
4.1.3.1	MÉTODOS DEL MODELO ANDINO UIS.....	64
4.1.3.1.1	Diagrama de la Antena Transmisora.....	66
4.1.3.1.2	Lectura Archivo Antena (Ganancia).....	66
4.1.3.1.3	Cálculo con línea de vista.....	67
4.1.3.1.4	Convergencia de Vías.....	68
4.1.3.1.5	Orientación.....	68
4.1.3.1.6	Pérdidas.....	69
4.1.3.1.7	Potencia.....	69
4.2	Clases Cellgis.....	69
4.2.1	<i>Diagramas de Clases</i> .....	70
4.2.1.1	Paquetes.....	70
4.2.1.2	Componentes.....	71
4.2.1.3	API Mapas.....	73
4.2.1.4	API Modelos de Propagación.....	74
5.	PARÁMETROS DE SIMULACIÓN, CAMPAÑAS DE MEDIDAS, VALIDACIÓN DEL ALGORITMO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
5.1	ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DEL MODELO ANDINO UIS CELLGIS CON ANDINO UIS CELLVIEW.....	85
5.2	ANÁLISIS COMPARATIVO ANDINO UIS Y CAMPAÑAS DE MEDIDAS.....	88
5.2.1	<i>CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO BUCARAMANGA</i> .....	91
5.2.2	<i>CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO PROVENZA</i> .....	92
5.2.3	<i>CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO SAN LUIS Y DIAMANTE II</i> .....	93



6. CONCLUSIONES 99

6.1 CONCLUSIONES..... 99

6.2 RECOMENDACIONES. .... 102

7. REFERENCIAS ..... 108

ANEXOS.

## LISTA DE FIGURAS.

	<b>Págs.</b>
<b>FIGURA 2.1.</b> HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN CELULAR CELLVIEW ...	<b>12</b>
<b>FIGURA 2.2.</b> HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN CELULAR CELLGIS.....	<b>13</b>
<b>FIGURA 2.3</b> XML, INFORMACIÓN NO CENTRALIZADA.....	<b>16</b>
<b>FIGURA 2.4</b> ELEMENTO PROYECTO.....	<b>21</b>
<b>FIGURA 2.5</b> ELEMENTO SITES.....	<b>21</b>
<b>FIGURA 2.6</b> ELEMENTO SITE.....	<b>22</b>
<b>FIGURA 2.7</b> ELEMENTO SECTOR.....	<b>23</b>
<b>FIGURA 2.8</b> ELEMENTO REDES Y RED.....	<b>23</b>
<b>FIGURA 2.9</b> ELEMENTO RED_SITE.....	<b>24</b>
<b>FIGURA 2.10</b> ELEMENTO COBERTURA.....	<b>25</b>
<b>FIGURA 3.1</b> PARÁMETROS TENIDOS EN CUENTA EN EL MODELO DE PROPAGACIÓN ANDINO UIS.....	<b>28</b>
<b>FIGURA 3.2</b> ORIENTACIÓN DE LA ONDA DE INCIDENCIA.....	<b>30</b>
<b>FIGURA 3.3</b> GEOMÉTRICA BÁSICA DE DIFRACCIÓN DE ESQUINAS.....	<b>33</b>
<b>FIGURA 3.4</b> GEOMETRÍA BÁSICA DE UNA CONVERGENCIA DE VÍAS.....	<b>38</b>
<b>FIGURA 3.5</b> ÁREA DE UNA CONVERGENCIA.....	<b>38</b>
<b>FIGURA 3.6</b> ESQUEMA BÁSICO DE MÉTODO DE DIFRACCIÓN POR FILOS DE CUCHILLO.....	<b>42</b>
<b>FIGURA 3.7</b> ESQUEMA BÁSICO DEL MÉTODO DE DIFRACCIÓN POR CILINDROS.....	<b>43</b>

**FIGURA 3.8** SON OBSTÁCULOS AQUELLOS ELEMENTOS QUE INTERFIEREN EN LA LÍNEA DE VISTA ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR. (A) EDIFICIOS, (B) PROLONGACIONES DE TERRENO O (C) LA COMBINACIÓN DE AMBOS.. **45**

**FIGURA 3.9** CARACTERIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA DE UN ENTORNO POR MEDIO DE LÓGICA DIGITAL. .... **46**

**FIGURA 3.10** SONDEO ALREDEDOR DE UN PUNTO. .... **47**

**FIGURA 3.11** DIMENSIONES DEL MARCO DE REFERENCIA..... **47**

**FIGURA 3.12** PERFIL DE OBSTÁCULOS..... **48**

**FIGURA 3.13** PERFIL DE ALTURAS DE LOS OBSTÁCULOS ..... **48**

**FIGURA 3.14** PERFIL DE ALTURAS DE LOS OBSTÁCULOS. .... **49**

**FIGURA 4.1** ÁREA DE COBERTURA DIVIDIDA EN CUATRO CUADRANTES**61**

**FIGURA 5.1** MAPA DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA SOBRE CELLGIS.**78**

**FIGURA 5.2** PATRÓN DE RADIACIÓN ANTENA ASPD977 ..... **80**

**FIGURA 5.3** PATRÓN DE RADIACIÓN H-V DE LA ANTENA ASPD 977 (PLANO VERTICAL Y PLANO HORIZONTAL) ..... **81**

**FIGURA 5.4** PATRÓN DE RADIACIÓN DE LA ANTENA 855DDH90E ..... **81**

**FIGURA 5.5** PATRÓN DE RADIACIÓN H-V DE LA ANTENA 855DDH90E (PLANO VERTICAL Y PLANO HORIZONTAL) ..... **82**

**FIGURA 5.6** PATRÓN DE RADIACIÓN DE LA ANTENA D8874G90R ..... **82**

**FIGURA 5.7** PATRÓN DE RADIACIÓN H-V DE LA ANTENA D8874G90R (PLANO VERTICAL Y PLANO HORIZONTAL) ..... **83**

**FIGURA 5.8** EQUIPO DE MONITOREO MINIPORT RECEIVER EB200. A) CUERPO DEL EQUIPO Y ANTENA DE OPERACIÓN PARA EL RANGO DE 0.5-3GHZ. B) PANEL FRONTAL DE CONTROL Y C) CURVAS DE GANANCIA..... **84**

<b>FIGURA 5.9</b> A) Y B) GENERACIÓN DE LA COBERTURA POR MEDIO DEL MODELO ANDINOUIS EN LA HERRAMIENTA CELLGIS.....	<b>86</b>
<b>FIGURA 5.10</b> A) Y B) GENERACIÓN DE LA COBERTURA POR MEDIO DEL MODELO ANDINOUIS EN LA HERRAMIENTA CELLVIEW.....	<b>87</b>
<b>FIGURA 5.11</b> ANÁLISIS COMPARATIVO GRÁFICO. ....	<b>88</b>
<b>FIGURA 5.12</b> CONSTITUCIÓN GEOGRÁFICA DEL TERRENO DE ANÁLISIS.....	<b>90</b>
<b>FIGURA 5.13</b> ALTURA DE EDIFICIOS DE LA ZONA DE ANÁLISIS.....	<b>91</b>
<b>FIGURA 5.14</b> MEDICIONES BARRIO BUCARAMANGA .....	<b>92</b>
<b>FIGURA 5.15</b> MEDICIONES BARRIO PROVENZA.....	<b>93</b>
<b>FIGURA 5.16</b> MEDICIONES BARRIO SAN LUIS Y DIAMANTE II. ....	<b>93</b>
<b>FIGURA 5.17</b> SIMULACIÓN COBERTURA TECNOLOGÍA TDMA.....	<b>94</b>
<b>FIGURA 5.18</b> SIMULACIÓN COBERTURA TECNOLOGÍA CDMA. ....	<b>94</b>
<b>FIGURA 5.19</b> COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE TODAS LAS RUTAS PARA EL SISTEMA TDMA. ....	<b>95</b>
<b>FIGURA 5.20</b> COMPARACIÓN RESULTADOS SISTEMA CDMA .....	<b>96</b>
<b>FIGURA 5.21</b> COMPARACIÓN RESULTADOS CONVERGENCIA DE VÍAS..	<b>97</b>

## LISTA DE TABLAS.

	<b>Págs.</b>
<b>TABLA 5.1</b> PARÁMETROS DEL TRANSMISOR CON LAS ANTENAS ASPD977 .....	<b>79</b>
<b>TABLA 5.2</b> PARÁMETROS DEL TRANSMISOR CON LAS ANTENAS D8874G90R .....	<b>79</b>
<b>TABLA 5.3</b> PARÁMETROS DEL TRANSMISOR CON LAS ANTENAS 855DDH90E. .....	<b>80</b>
<b>TABLA 5.4</b> ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO. ....	<b>88</b>
<b>TABLA 5.5</b> DESEMPEÑO MODELO ANDINOUIS EN CELLGIS. ....	<b>88</b>
<b>TABLA 5.6</b> COSTO COMPUTACIONAL.....	<b>89</b>
<b>TABLA 5.7</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO SISTEMA TDMA.....	<b>95</b>
<b>TABLA 5.8</b> DESEMPEÑO SISTEMA TDMA.....	<b>95</b>
<b>TABLA 5.9</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO SISTEMA CDMA. ....	<b>96</b>
<b>TABLA 5.10</b> DESEMPEÑO SISTEMA CDMA. ....	<b>97</b>
<b>TABLA 5.11</b> ANÁLISIS ESTADÍSTICO CONVERGENCIA DE VÍAS .....	<b>97</b>
<b>TABLA 5.12</b> DESEMPEÑO CONVERGENCIA DE VÍAS.....	<b>98</b>

## LISTA DE ANEXOS.

<b>ANEXO A. MODELO ANDINO UIS – CELLGIS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO B. RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MEDIDAS Y SIMULACIONES .....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO C. MANUAL CELLGIS</b>	

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

- Desarrollar en Java el algoritmo Andino UIS<sup>®</sup> y adaptarlo a la herramienta de planificación de redes celulares CellGis, para realizar los cálculos de pérdidas por propagación de señal electromagnética para los sistemas de telefonía celular que operan sobre entornos urbanos con superficies irregulares como las de la ciudad de Bucaramanga.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudio, análisis, manejo y apropiación de las herramientas CellView y CellGis.
- Analizar el algoritmo Andino UIS<sup>®</sup> escrito en lenguaje C++, para su implementación en Java, adaptándolo a la herramienta CellGis.
- Realizar las pruebas que garanticen el correcto funcionamiento del algoritmo sobre CellGis., comparando los resultados con los obtenidos sobre la herramienta CellView y campañas de medidas sobre la ciudad de Bucaramanga.
- Documentar la solución.

## RESUMEN

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN EN JAVA DEL MODELO DE PROPAGACIÓN ANDINO UIS® PARA PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE REDES CELULARES SOBRE CELLGIS.

**AUTORES:** JOHN CAMILO SOLANO ARENAS, LEONARDO ANDRÉS JAIMES FAJARDO. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Herramienta de planificación de redes inalámbricas, modelo AndinoUIS, CellGIS, gestión espectro radioeléctrico.

### DESCRIPCIÓN:

Las comunicaciones móviles combinadas con el poder del Internet, conducen a que el mundo tienda a ser inalámbrico. A partir de esto, es necesario contar con herramientas que permitan realizar una correcta planeación de redes inalámbricas.

Los grupos RadioGIS e I2T, apoyados por TESAmérica y el Ministerio de Comunicaciones, desarrollan una herramienta financiada por Colciencias, denominada CellGis para la planeación de redes inalámbricas y adecuada para regiones andinas. CellGis está basada en lenguaje java y en sistemas de información geográfica, que permite visualizar y manipular información geográfica contenida en mapas digitales de diversos formatos. Esta programación orientada a objetos, garantiza: desarrollo permanente, aplicación multiplataforma, entre otros.

Como avance de la herramienta, se integra dentro del CellGis el modelo de propagación AndinoUIS, desarrollando su programación en java, siguiendo una estructura establecida para su correcto uso y acople dentro de la herramienta. AndinoUIS es un modelo semideterminístico planteado dentro de RadioGIS, apuntando hacia el interés de modelar bajo las condiciones andinas la radiopropagación. Con el fin de realizar un análisis completo, se adiciona dentro de la herramienta la lectura de archivos con los patrones de radiación de antenas transmisoras.

Los resultados del trabajo realizado, permite que un usuario desarrolle en CellGis la simulación de coberturas de potencia producidas por antenas transmisoras, sobre mapas digitales, conociendo la radiación que se presenta en cualquier punto geográfico de interés.

Esta investigación es la base de próximos trabajos que evolucionen el CellGis a un servicio remoto basado en posicionamiento, para que cualquier usuario pueda conocer la radiación que se presenta en el lugar ya sea desde el punto de vista de un planeador de redes o desde el interés de conocer si en ese punto los niveles de radiación son adecuados para la salud humana, dando así, un apoyo a la gestión del espectro radioeléctrico.

---

\* Tesis

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas

Programa de Ingeniería Electrónica

Director: PhD. Homero Ortega Boada

## SUMMARY

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF JAVA IN MODEL SPREAD OF ANDEAN UIS® FOR PLANNING AND ANALYSIS OF CELLULAR NETWORKS ON CELLGIS.

**AUTHORS:** JOHN CAMILO SOLANO ARENAS, LEONARDO ANDRES JAIMES FAJARDO. \*\*

**KEY WORDS:** Tool planning wireless networks, model AndinoUIS, CellGIS, spectrum management.

### DESCRIPTION:

Mobile communications combined with the power of the Internet, leading to the world tends to be wireless. From this, there is a need for tools to make proper planning wireless networks.

The groups RadioGIS and I2T, TESAmérica and supported by the Ministry of Communications, developed a tool funded by Colciencias, called CellGis for planning and suitable for wireless networks Andean regions. CellGis is based on Java language and geographic information systems, which lets you view and manipulate geographic information in digital maps in a variety of formats. This Object-oriented programming (OOP) guarantees: continued development, implementation multiplatform, and others.

As advancement of the tool is integrated the spread model AndinoUIS, develop its programming in Java, following a structure established for proper use and coupling within the tool. AndinoUIS is a model semi-deterministic raised within RadioGIS, pointing to the interest of modeling Andean conditions of the radio. In order to conduct a complete analysis, it adds within the tool to read files with the patterns of radiation transmitter antennas.

The results of the work, allows a user to develop in the simulation CellGis hedge power produced by transmitting antennas, digital maps, knowing the radiation that occurs in any geographic point of interest.

This research is the basis for future work evolves CellGis a remote service based on positioning, so that anyone can know the radiation that occurs in the place either from the point of view of a glider networks or from the interest know at this point whether radiation levels are adequate to human health, thus, support for the management of radio spectrum.

---

\* Thesis

\*\* Faculty of Physical-mechanical

Electronics Engineering Program

Director: PhD. Homer Ortega Boada

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia las comunicaciones han sido clave para el desarrollo de la humanidad. El descubrimiento de la rueda fue el impulsor de los medios de transporte, la imprenta la promotora de las revoluciones sociales. Hoy el desarrollo de las comunicaciones móviles combinadas con el poder de la Internet en lo que se conoce como las comunicaciones 3G y a futuro las 4G, conducen la globalización del mundo. Estos nuevos sistemas van a permitir que la capacidad de comunicación de la telefonía móvil, evolucione hasta niveles insospechados, en donde no solo deben soportar la voz sino también altas velocidades de transmisión de datos, imágenes, mensajes y hasta video y televisión. Pero, ¿Qué serían las comunicaciones móviles sin herramientas para su correcta planeación? Las herramientas computacionales permiten ahorrar enormes esfuerzos en la planificación de redes, pero también motivan la innovación tecnológica gracias a que permiten experimentar con tecnologías difíciles de adquirir o que apenas se encuentran en la mente de los científicos. De otro lado, el intenso desarrollo que han presentado las comunicaciones móviles tiene un importante impacto en el espectro radioeléctrico, como recurso natural. Por esta razón, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) y sus países miembros vienen trabajando en la concepción de un sistema para la gestión del espectro radioeléctrico. El grupo de investigación RadioGIS de la Universidad Industrial de Santander, en cooperación con el grupo de investigación I2T de la Universidad Icesi, la empresa Tesamerica<sup>1</sup>, el Ministerio de Comunicaciones, que en adelante se llamará Alianza RadioGIS, se encuentran realizando un proyecto financiado por Colciencias<sup>2</sup> para desarrollar un servicio de apoyo a la gestión del espectro radioeléctrico. La herramienta de simulación CellGis desarrollada por la mencionada alianza es un primer paso para satisfacer esta necesidad. Desde el punto de vista de un usuario, CellGis brinda la

---

<sup>1</sup> [www.tesamerica.com](http://www.tesamerica.com)

<sup>2</sup> Desarrollo de una herramienta basada en GIS, para el apoyo a la gestión espectro radio y el control de niveles de radiación electromagnética

posibilidad de conocer la radiación que se presenta en cualquier punto geográfico de interés, ya sea con datos de mediciones reales realizadas previamente o con datos simulados. También le permite configurar cualquier tipo de red inalámbrica para luego obtener las simulaciones de radiación. Gran parte de la solución será consecuencia del presente trabajo de grado que en siguientes trabajos buscará: desarrollar un servicio remoto basado en posicionamiento para que cualquier usuario pueda conocer la radiación que se presenta en el lugar ya sea desde el punto de vista de un planeador de redes o desde el simple interés de conocer si en ese punto se están respetando las normas sobre niveles mínimos de radiación para la salud humana; otro importante servicio consiste en que los ingenieros y técnicos de planeación de redes y/o las entidades de control dispongan de una especie de escáner del espectro radioeléctrico que registra información de mediciones que realizan equipos de medición que son desplazados por diversos lugares de interés.

El grupo I2T desarrolló la versión inicial de la herramienta CellGis<sup>3</sup>, y ha sido compromiso de RadioGIS, desarrollar e integrar dentro de la herramienta, un algoritmo de propagación apropiado para la región andina. Desde tiempo atrás, el grupo RadioGIS ha centrado sus investigaciones al modelamiento de algoritmos y teorías que faciliten la gestión del espectro radioeléctrico en las condiciones geográficas de nuestra región. Trabajos como “Cobertura para Sistemas Móviles Celulares en Entorno Urbano Escarpado”<sup>4</sup>, realizan aportes al desarrollo de nuevos algoritmos para caracterizar las condiciones de nuestro terreno, como fue la creación del modelo Andino UIS®<sup>5</sup>.

El modelo semideterminístico de propagación electromagnética Andino UIS®, fue formulado como trabajo de tesis de pregrado, apuntando hacia el interés de modelar

---

<sup>3</sup> Llano Teresa, Ardila Carlos, Herramienta para análisis y planificación de redes celulares.

<sup>4</sup> Alexis Paolo García Ariza, “COBERTURA PARA SISTEMAS MÓVILES CELULARES EN ENTORNO URBANO ESCARPADO. Universidad Industrial de Santander, E3T, Bucaramanga-Colombia, 2002.

<sup>5</sup> Carreño Lizarazo Yair Ivan, Desarrollo Del Modelo De Propagación Andino UIS®, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

bajo las condiciones andinas la radiopropagación. A partir de estos trabajos, RadioGIS ha entrado en el desarrollo y uso de herramientas basadas en GIS, para la planeación de las comunicaciones móviles. Inicialmente este proceso se realizó gracias a la cooperación internacional con el grupo de Comunicaciones Móviles de la Universidad de Valencia (GCMV), quien proporcionó la herramienta CellView<sup>6</sup> basado en el GIS ArcView<sup>7</sup>, en donde fue implementado el modelo Andino UIS.

El modelo Andino UIS fue implementado dentro de la herramienta CellView, en donde se comprobó su desempeño mediante análisis estadísticos y demostrando un mejor nivel de predicción principalmente en las convergencias de vías al compararlo con otros modelos de propagación. Avances importantes y de gran reconocimiento se han logrado con este algoritmo<sup>8 9 10</sup>.

Uno de los retos de esta investigación es integrar el modelo Andino UIS dentro de la herramienta CellGis, comprobando su correcto desempeño, y de esta manera alcanzando el compromiso adquirido por RadioGIS, para el mejoramiento y evolución de la herramienta.

CellGis es una herramienta desarrollada en lenguaje Java<sup>11</sup> y basada en Sistemas de Información Geográfica (GIS)<sup>12</sup>, que permite visualizar y manipular información geográfica contenida en mapas digitales de diversos formatos. En el desarrollo del CellGis se tienen varios parámetros que justifican la programación basada en Java y

---

<sup>6</sup> ROIG G., Vicente. Planificación y análisis de sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación sobre CellView. Valencia, 1996, p. 1-35, 137-197, A.I 1-A.I 143. Proyecto fin de carrera (Ingeniero de Telecomunicaciones). Universidad Politécnica de Valencia. E.T.S.I.T.

<sup>7</sup> ArcView 3D Analyst: 3D Surface Creation, Visualization, and Analysis: *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, U.S, 1997.

<sup>8</sup> Carreño Y, García A, Ortega H, Rosas D. Predicción De Perdidas Por Propagación Por Medio Del Modelo Andino UIS. Andescon 2006.

<sup>9</sup> Carreño Y, García A, Ortega H, Desarrollo del modelo de propagación Andino-UIS. Vol 4|No 8|Bucaramanga|Colombia|Ene, Feb, Mar, Abr|2005|ISSN 1657-8236

<sup>10</sup> García A, Ortega H, Jaimes A, Gallo F, Prieto M, Simulación y Validación de los Niveles de Radiación Electromagnética en las Inmediaciones de una Radio Base para la verificación de Normas en Condiciones Andinas. Andescon 2006.

<sup>11</sup> [www.java.sun.com](http://www.java.sun.com)

<sup>12</sup> Conjunto de programas y aplicaciones software que permiten la gestión de información organizada en bases de datos, referenciadas espacialmente y que puede ser visualizada mediante mapas.

orientada a objetos, como es garantizar su desarrollo permanente, tener acceso por Internet, ser una herramienta multiplataforma, entre otros. A futuro, CellGis aspira a convertirse en plataforma para muchos otros servicios de telecomunicaciones basados en localización y en GIS. La implementación y uso del CellGis, evita el uso de procedimientos demasiado costosos para la planificación de sistemas celulares para nuestro entorno, con resultados bastante precisos, puesto que al disponer del relieve en forma de datos, se pueden imitar fácilmente las fuentes de radio y la propagación de las ondas, hasta el punto de poder determinar las características del campo electromagnético o de las señales en cualquier lugar del espacio geográfico.

La implementación de Andino UIS<sup>®</sup> dentro de CellGis, requirió de su programación en lenguaje java, siguiendo una estructura establecida para la correcta integración con la herramienta. Con esto, se adicionaron características importantes al modelo, como es portabilidad y modularidad, y todo el conjunto (herramienta y modelo), permitirá generalizarlo a cualquier tipo de maquina o dispositivo, ya sea un PC, un móvil, un portátil, una Palm, entre otros, desarrollando una herramienta que sea de fácil acceso, la cual en conjunto con el GIS, un respectivo usuario podrá enviar los parámetros necesarios desde cualquier punto de una ciudad en que se encuentre, para hallar valores de cobertura en una zona respectiva.

Igualmente, la importancia de esta investigación, fue la apropiación y manejo de CellGis, a nivel de programación y análisis de modelos de propagación, para su respectiva implementación y acople dentro de la herramienta, validando el correcto funcionamiento del cálculo de pérdidas por propagación electromagnética en entornos tipo andino. Con este trabajo y con las investigaciones que se desarrollarán a partir de este, se espera contar con una herramienta propia, muy modular, basada en Java, garantizando la portabilidad, para un futuro uso dentro de la web. Finalmente, lo que se busca es evolucionar la herramienta CellGis hacia una plataforma servidor con acceso desde la web.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO.

En el capítulo 2, se presenta toda la información relacionada con las herramientas de planificación celular con las que se trabajaron a lo largo de esta investigación, describiendo los elementos característicos de cada una de estas herramientas.

En el capítulo 3, se hace una descripción detallada sobre el modelo de propagación Andino UIS, explicando de manera estructural y secuencial el procedimiento para el cálculo de coberturas (intensidad de campo en una zona respectiva de un mapa), identificando las principales causas de pérdidas en la radiopropagación.

En el capítulo 4, se presenta el procedimiento para desarrollar el modelo Andino UIS sobre lenguaje Java, y posteriormente integrarlo sobre la herramienta CellGis. A lo largo de este capítulo se mencionan todas las características que deben tener en cuenta los nuevos desarrolladores para poder adicionar nuevos modelos de propagación dentro de la herramienta.

Para validar y analizar el desempeño del modelo Andino UIS sobre CellGis, se desarrolló el capítulo 5. En este capítulo se muestra el funcionamiento de la herramienta y se realizan comparaciones gráficas y estadísticas de los resultados del modelo implementado en CellGis con respecto a los resultados del modelo sobre la herramienta de planificación CellView y campañas de medidas realizadas sobre la ciudad de Bucaramanga.

Finalmente se presentan las conclusiones generadas a partir de esta investigación, justificando a partir de los resultados la apropiación de la herramienta CellGis, resaltando sus principales características y el por qué de nombrarla como la herramienta principal del grupo de investigación RadioGIS para desarrollar servicios en las telecomunicaciones.

## **CAPITULO 2**

### **HERRAMIENTAS DE PLANIFICACION DE REDES CELULARES**

Las herramientas de planificación de redes celulares CellView y CellGis son aplicaciones basadas en sistemas de información geográfica (GIS), que, desde el punto de vista de los desarrolladores de algoritmos de propagación, como es el caso de los autores del presente trabajo, permiten probar e introducir diversos modelos de radio propagación. Un usuario puede hacer uso de estas aplicaciones para obtener la simulación de las pérdidas por propagación electromagnética sobre ciudades y montañas representadas en información geográfica que se carga digitalmente en un GIS. CellGis busca convertirse en poco tiempo en la plataforma para el desarrollo de los servicios que apoyan la gestión del espectro radioeléctrico y más adelante soportará seguramente variados servicios de telecomunicaciones basados en posicionamiento y GIS. La principal desventaja del CellView es que su evolución no está al alcance de la Alianza RadioGis, debido a que no le pertenece y porque su estilo y lenguaje de programación no soportan los retos que plantean los sistemas de gestión del espectro radioeléctrico. Sin embargo, es necesario el estudio comparativo de las dos aplicaciones ya que gran parte de los aportes en algoritmos de propagación realizados en el grupo RadioGIS han sido implementados sobre CellView.

#### **2.1 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (GIS).**

Un Sistema de Información Geográfica (GIS), es un conjunto de programas y aplicaciones software que permiten la gestión de información organizada en bases de datos, referenciadas espacialmente y que puede ser visualizada mediante mapas. Un GIS debe contar con un determinado conjunto de funciones que permitirán al usuario el manejo de los distintos tipos de datos que se pueden usar para la representación de la información referenciada espacialmente.

Entre ellas podemos encontrar las siguientes:

- Representación gráfica de entidades como líneas, áreas o superficies referenciadas mediante coordenadas geográficas o cartesianas.
- Base de datos que permita accesos selectivos a sus contenidos, gestionando de forma conjunta tanto los datos gráficos como los alfanuméricos asociados con una determinada zona. Además debe permitir establecer las llamadas relaciones topológicas entre las que se encuentran las de contigüidad, intersección, inclusión, distancia, entre otros.
- Posibilidad de consultas y simulaciones con los datos, y capacidad de generación de cartografía y documentación alfanumérica a partir de ellas.
- Importación y exportación de datos, tanto geográficos como alfanuméricos, hacia los formatos de otras aplicaciones de similares intenciones.
- Lenguaje de alto nivel que permita al usuario automatizar las operaciones que realice a su voluntad.

Existen dos tipos diferentes de estructuras de información geográfica espacial: información vectorial e información matricial (también llamada grid o raster).

### **2.1.1. Información vectorial**

La información geográfica de muchas de las capas de información que manejan los GIS se encuentran en formato vectorial. Esto significa que los diferentes elementos geográficos de cada una de estas capas serán almacenados como conjuntos de puntos relacionados dentro de un sistema coordenado, que será el cartesiano. Esto es, el sistema de coordenadas cartesiano (pares  $x,y$ ) hará referencia a la posición de los elementos en el mundo real.

De esta forma, no se tiene una representación continua de la información geográfica, sino que cada elemento que se quiera describir tendrá una descripción propia e individualizada, y estará considerado como un elemento individual y diferenciado dentro de la estructura de datos.

### **2.1.2. Información matricial**

La información matricial realiza una descripción continua de la realidad. Esto lo consigue dividiendo la zona geográfica a describir en celdas de una determinada resolución a través de un mallado homogéneo y asignando a cada celda un valor determinado, indicativo de la cualidad que se está describiendo (altura, potencia, tipo de suelo...). A este tipo de información también se la llama raster o grid.

Los rasters no diferencian elementos independientes (como hacía la información vectorial), sino que realizan un registro de un área geográfica determinada siempre de la misma forma sin atender a lo que ésta contenga. Así, puntos, líneas o polígonos, son tratados de la misma forma.

Es importante resaltar que en la actualidad la relación entre las comunicaciones y los GIS es más directa. Tradicionalmente, los GIS se han usado en la geología como bancos de datos que pueden almacenar todo tipo de información sobre áreas geográficas, sin embargo, esto está cambiando hasta el punto que ya no se concibe el futuro de las comunicaciones sin GIS. Esto se debe a que gran parte de la información que consultan los humanos tiene relación con la geografía. Así por ejemplo, un usuario de Internet móvil tiene la facilidad para encontrar información específica relacionada con el lugar en que se encuentra, como un restaurante o la descripción del monumento que está observando, lo cual es de gran interés en áreas como el Comercio Electrónico, Telemedicina, estudios del medio ambiente, las cosechas, estrategias militares, entre otros. En pocas palabras, el futuro promete que será posible desplazarse a cualquier parte del mundo desde la pantalla de un

computador para los más diversos fines, puesto que todos los rincones del planeta estarán registrados en GIS.

La utilización de GIS en la planificación de sistemas de radiocomunicación, permite manejar la información en diferentes capas o niveles, que pueden considerarse y manipularse como una sola base de datos geográfica. Esta base de datos puede ser ampliada y modificada, añadiendo información o personalizándola. Sobre un mismo mapa se pueden superponer capas de información que pueden ser de utilidad para diferentes aplicaciones, como por ejemplo, las estaciones base de un sistema de radio móvil, la ubicación de los abonados móviles (de gran importancia en la ingeniería de tráfico), la ubicación de edificaciones en un entorno urbano (con atributos de alturas), las vías (con atributos de orientación), los árboles con información de sus alturas, curvas de nivel del terreno, los niveles de irradiación de las estaciones base, entre otras.

Se hace necesario establecer una distinción entre dos formas de desarrollo de un proyecto GIS:

- Desarrollo de un sistema de información geográfica como tipo de software poseedor de una gran caja de herramientas capaz de almacenar y manejar bajo una estructura lógica la geometría (información espacial) y los atributos (información alfanumérica) de los datos georreferenciados sobre la cual un equipo de desarrollo de software crea aplicaciones (visión de los GIS's en informática).
- Desarrollo de un sistema de información geográfica como una aplicación en una empresa u organismo, que integra un conjunto de software, datos y procedimientos, sobre el cual un equipo de operadores analiza información con el objeto de administrar su gestión dentro del contexto geográfico que apoye la inferencia de comportamientos y toma de decisiones (visión de los GIS's en ingeniería).

Las herramientas CellView y CellGis, utilizan los GIS como herramienta de apoyo a la ingeniería (visión de los GIS's en ingeniería), usando la información geográfica espacial como tipo raster.

## **2.2 SISTEMA DE COORDENADAS UTM (Universal Transverse Mercator).**

Para referenciar geográficamente las entidades de un GIS pueden utilizarse coordenadas geográficas globales (latitud y longitud), o bien utilizar proyecciones planas con coordenadas cartesianas.

El sistema de proyección y coordenadas que ha alcanzado mayor prestigio y que es el utilizado por CellView y CellGis es el UTM. (Universal Transverse Mercator).

El sistema UTM se caracteriza por:

- Un punto de proyección, que es el centro de la Tierra.
- Una superficie que se proyecta, la de la Tierra, considerada como un elipsoide.
- Una superficie sobre la que se proyecta, que es un cilindro tangente a la Tierra en un meridiano.

En el sistema UTM se divide la Tierra en 60 zonas llamadas husos, comprendiendo cada una de ellas  $3^{\circ}$  de longitud a cada lado de su meridiano de tangencia. El sistema cartesiano de representación de la proyección tendrá sus ejes situados en el meridiano central y en el Ecuador para las ordenadas y abscisas respectivamente. Para evitar el uso de coordenadas negativas, el eje de abscisas se desplaza 500.000 m al oeste del meridiano central y el de ordenadas 10.000.000 m al sur del Ecuador.

Dentro del dominio de las aplicaciones, una coordenada UTM representa un par de valores decimales que se refieren a la distancia en metros desde el origen cartesiano.

### **2.3 HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN CELLVIEW<sup>®</sup> SOBRE ARCVIEW 3.1**

ArcView<sup>®</sup> es una herramienta desarrollada por la empresa estadounidense ESRI<sup>13</sup>. Con ella se pueden representar datos georreferenciados, analizar las características y patrones de distribución de esos datos y generar informes con los resultados de dichos análisis. El entorno de desarrollo del sistema de información (GIS) ArcView<sup>®</sup> consiste en un lenguaje de programación orientado a objetos y una interfaz gráfica para la personalización.

La interfaz gráfica, incluye la Caja de Diálogo de Personalización (Customize) y el Editor de Scripts, que le permiten escribir, ejecutar y depurar el código de Avenue y la personalización de la interfaz de usuario gráfica standard (GUI), mientras trabaja en el entorno de desarrollo familiar de ArcView<sup>®</sup>.

CellView<sup>®</sup> es una aplicación desarrollada sobre la plataforma ArcView<sup>®</sup>, por el Grupo de Comunicaciones Móviles (GCM) del Departamento de Comunicaciones (DCOM) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

Desarrolla análisis en campo de las radiocomunicaciones relacionadas con las Comunicaciones Móviles, entre las que se pueden englobar el cálculo de coberturas de potencia, la obtención de algoritmos de propagación adecuados tanto para entorno urbanos como rurales, estudios para las diferentes generaciones de la telefonía móvil, análisis de radioenlaces para niveles superiores en la jerarquía de red, entre otras. Posee una gran versatilidad, en cuanto a la representación de los

---

<sup>13</sup> Empresa dedicada a sistemas de información geográfica.

mapas (tanto urbanos como rurales) que son uno de los más importantes puntos de partida de las funciones que componen el programa. Así mismo, se dispone de la gran ventaja que suponen los distintos formatos de representación de los resultados, como son los grids de potencia. Un grid es un formato de datos de ArcView, en el cual la información se relaciona con una imagen dividida por una cuadrícula. A cada elemento de la cuadrícula se le asocia un valor correspondiente a la información que represente el tema. Este tipo de datos, permite que se puedan obtener muchos resultados, tratando cada gris (suponer una cobertura de potencia) como un elemento único, además de poder obtener el valor de cada uno de sus elementos por separado.

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

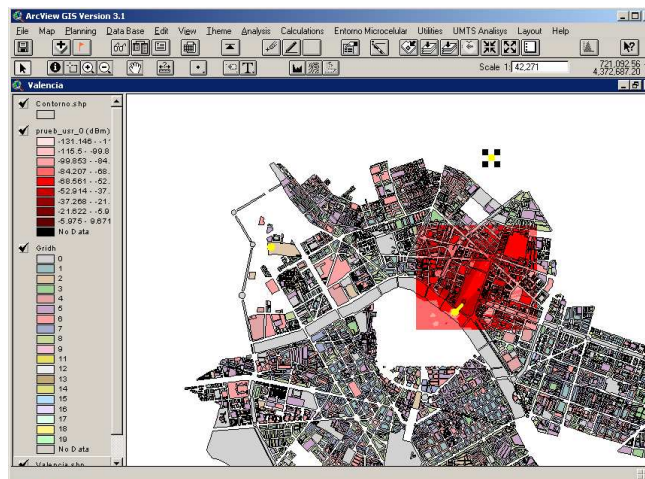
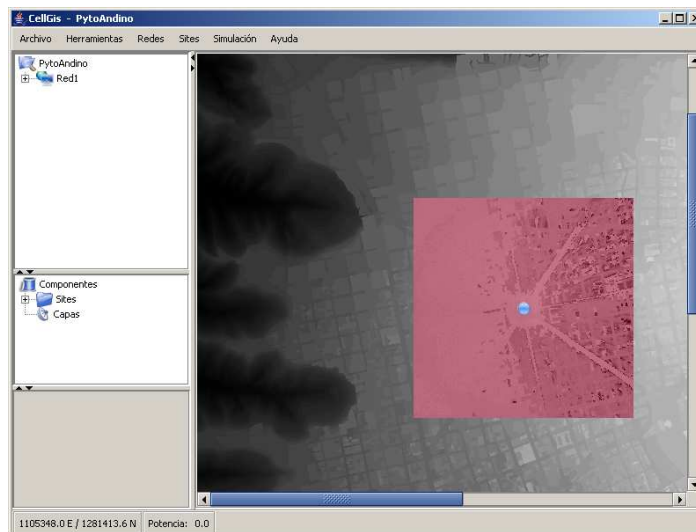


Figura 2.1. Herramienta de Planificación celular CellView

A través de investigaciones anteriores se ha recopilado gran parte de esta información<sup>14</sup>, y por tal motivo sólo se ha hecho una breve descripción de esta herramienta.

## 2.4 HERRAMIENTA PARA ANALISIS Y PLANIFICACIÓN DE REDES CELULARES CELLGIS.

CellGis es el único sistema para planificación de redes celulares que no utiliza la interacción con bases de datos y que brinda al usuario la posibilidad de generar un archivo de proyecto con la configuración de la red celular (incluyendo las coberturas generadas) que es totalmente transportable entre plataformas y equipos donde esté instalado el sistema; y que además ocupa muy poco espacio en disco debido al uso del estándar .ZIP<sup>15</sup> que comprime los datos, reduciendo considerablemente el tamaño de un archivo generado por la aplicación.



**Figura2.2.** Herramienta de Planificación celular CellGis.

<sup>14</sup> Martha Prieto, Fidelfigna Gallo. *Análisis de irradiación electromagnética en las inmediaciones de una radio base sectorizada bajo condiciones andinas*. Universidad del Valle. Colombia 2004.

<sup>15</sup> Formato para compresión de datos sin pérdida.

## 2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA APLICACIÓN

### 2.4.1.1 Portabilidad.

Se dice que una aplicación es portable si funciona sobre distintas arquitecturas y sistemas operativos; más aún, si su código fuente puede ser recompilado en cada una de estas plataformas. Bajo este concepto ninguna aplicación puede ser completamente portable, puesto que las tecnologías antiguas (todavía en uso) suelen ser incompatibles con las más modernas. Sin embargo, es posible aproximarse satisfactoriamente a este enfoque siguiendo los estándares de la industria.

*“La portabilidad de una aplicación es una forma de rechazo en donde la aplicación es reutilizada como entrada en una plataforma diferente. La portabilidad se consigue mediante el desarrollo de acuerdo a estándares y aislando las dependencias entre plataformas”<sup>16</sup>.*

Con el fin de garantizar la portabilidad de la aplicación, se optó por la utilización de tres estándares: Java(™) , XML, ZIP.

#### 2.4.1.1.1 Lenguaje de desarrollo.

La tecnología Java(™) ofrece una de las mejores soluciones al problema de la portabilidad: la máquina virtual. Así, no es el hardware el encargado de ejecutar el código; sino otra pieza de software (expresamente creada para este fin) la que asume la responsabilidad de servir de puente entre la máquina y la aplicación.

Dentro del proyecto, se sigue la especificación de la J2SE versión 1.5.0.

---

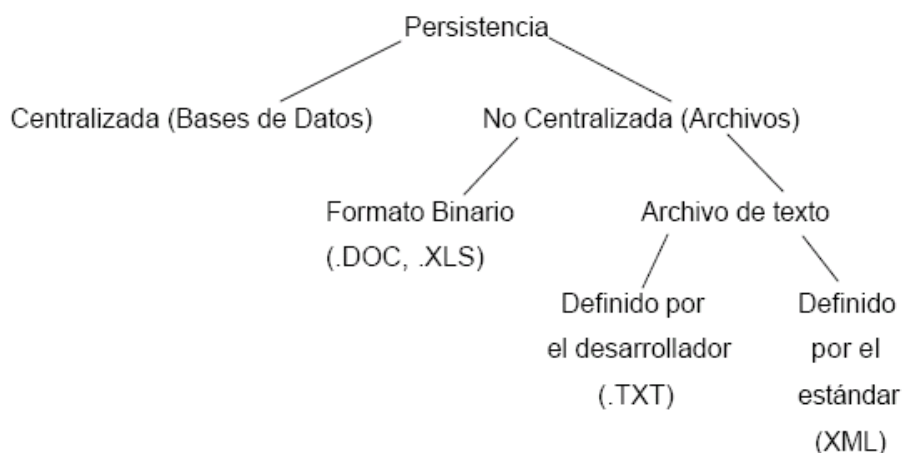
<sup>16</sup> Ian Sommerville, 1995 Ingeniería de Software.

#### **2.4.1.1.2 Documento del proyecto.**

Uno de los principales objetivos de la aplicación es permitir al usuario guardar la información de sus proyectos de manera unificada, de tal forma que pueda ser interpretada por distintas aplicaciones y brinde un modelo común y sencillo para describir sus componentes. Para lograr este fin, se utiliza el estándar XML que permite representar y almacenar información en formato legible y razonablemente comprensible.

Además, XML se caracteriza por definir la gramática de lenguajes específicos para cubrir diferentes necesidades, permitiendo compatibilidad entre sistemas para compartir la información de una manera segura, fiable y fácil. Además de esto, un archivo XML es un archivo de texto, lo que permite que su comprensión sea sencilla, sin necesidad de realizar un estudio previo. Igualmente se debe resaltar que XML hoy en día es una de las herramientas más usadas para el intercambio de información entre diferentes tipos de dispositivos y sistemas.

Por otra parte, el uso de XML permite dar una persistencia descentralizada a dicha información, ya que de esta forma los datos de cada usuario son almacenados de manera independiente; contrario al modelo de bases de datos relacionales, según el cual todos los usuarios de la aplicación dependen de un depósito común (como MySQL, PostgreSQL, etc.). Para aclarar este concepto se presenta la figura 2.3, en la cual se describen los distintos modelos de persistencia de datos:



**Figura 2.3** XML, Información no centralizada.

#### 2.4.1.1.3 Archivo del proyecto.

Con el fin de brindar al usuario la facilidad de transportar sus proyectos, la aplicación aprovecha las características brindadas por el estándar de compresión de archivos ZIP, para empaquetar toda la información relativa a un proyecto de usuario.

La información utilizada para el análisis y diseño de redes celulares (mapas, coberturas, antenas y herramientas) suele ocupar una gran cantidad de espacio en los medios de almacenamiento; el tamaño de estos archivos puede variar en grandes proporciones (desde 1MB hasta archivos de más de 60MB). Por este motivo, la información es empaquetada y comprimida en un archivo .ZIP brindando mayor facilidad al usuario en el momento de transportar su proyecto a otros medios (CD, Memory Key, Diskette, etc.) y a través de Internet (Correo electrónico, ftp, etc.).

#### 2.4.1.2 Reusabilidad.

La definición de la arquitectura de un sistema en términos de componentes reutilizables que se comunican entre si mediante interfaces que describen la

funcionalidad ofrecida por cada uno de ellos, contribuye a la construcción de aplicaciones más eficaces y robustas.

Las ventajas que brinda este enfoque son:

- Reducción del costo y riesgo de nuevas versiones (menores períodos de desarrollo, menor probabilidad de incurrir en errores (bugs)).
- Claridad que permite a los nuevos desarrolladores comprender la naturaleza de la aplicación y realizar un trabajo más eficaz.

Además, CellGis ofrece la característica de cartografía abierta, lo cual implica la posibilidad de manejar cualquier tipo de formato por medio de una arquitectura flexible, adaptable y a disposición del usuario; la cual permite desarrollar e integrar de manera fácil y estándar nuevas formas de manipulación de la cartografía digital, siendo esta una ventaja de CellGis respecto a otras herramientas de planificación celular, ya que estas otras solo manejan algunos formatos de mapas digitales restringiendo las posibilidades de los usuarios.

#### **2.4.2 ESTRUCTURA DEL ARCHIVO DEL PROYECTO**

El archivo asociado al proyecto de usuario contiene:

- El documento .XML que describe la estructura del proyecto manejado por la aplicación.
- Un directorio que contiene los archivos de las coberturas generadas por los modelos de propagación.
- El archivo del mapa.

Los archivos XML deben seguir una estructura que define la distribución y organización de los elementos que lo componen. Esta estructura está asociada a un archivo DTD<sup>17</sup>; por medio de este, CellGis es capaz de reconocer un archivo de proyecto que pertenezca a su sistema.

#### 2.4.2.1 Especificaciones del documento XML

- El documento empieza con unas líneas que describen la versión de XML, el tipo de documento y el DTD asociado. En el caso de CellGis, el DTD asociado al documento se incorpora internamente en el archivo XML del proyecto en vez de establecer una referencia a una ubicación en el disco, ya que por efectos de portabilidad del proyecto esta ubicación podría cambiar, afectando el funcionamiento de la aplicación en el momento de ejecutar la validación contra el DTD asociado.
- El documento sigue una estructura jerárquica con lo que respecta a las etiquetas que delimitan sus elementos.
- El elemento raíz del proyecto está declarado por la etiqueta <PROYECTO>, todos los demás elementos que conforman el documento deben ser parte de este elemento raíz.
- Los nombres de las etiquetas deben estar en mayúscula y los de los atributos en minúscula, ya que XML es “case sensitive”, esto quiere decir que trata las mayúsculas y las minúsculas como caracteres diferentes.
- Los valores de los atributos están encerrados entre comillas dobles (“) o sencillas (’).

---

<sup>17</sup> Document Type Definition, es una definición, en un documento XML, que especifica restricciones en la estructura y sintaxis del mismo

A continuación se describe un ejemplo de un documento XML generado por CellGis.

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE PROYECTO [
<!--Elemento raiz-->
<ELEMENT PROYECTO (SITES, REDES)>
<!ATTLIST PROYECTO nombre CDATA #REQUIRED
mapa CDATA #REQUIRED
version CDATA #REQUIRED
>
<!--Información de los Sites-->
<ELEMENT SITES (SITE*)>
<ELEMENT SITE (SECTOR*)>
<!ATTLIST SITE nombre CDATA #REQUIRED
alturaTorre CDATA #REQUIRED
alturaReceptor CDATA #REQUIRED
>
<!--Información de Sectores-->
<ELEMENT SECTOR EMPTY>
<!ATTLIST SECTOR idSector CDATA #REQUIRED
azimut CDATA #REQUIRED
pire CDATA #REQUIRED
frecuencia CDATA #REQUIRED
altura CDATA #REQUIRED
antena CDATA #REQUIRED
inclinacionAntena CDATA #REQUIRED
>
<!--Información de las Redes-->
<ELEMENT REDES (RED*)>
<ELEMENT RED (RED_SITE*)>
<!ATTLIST RED nombre CDATA #REQUIRED>
<ELEMENT RED_SITE (SECTOR*, COBERTURA*)>
<!ATTLIST RED_SITE
nombre CDATA #REQUIRED
alturaTorre CDATA #REQUIRED
alturaReceptor CDATA #REQUIRED
utmX CDATA #REQUIRED
utmY CDATA #REQUIRED
>
<!--Información de la Cobertura-->
<ELEMENT COBERTURA EMPTY>
<!ATTLIST COBERTURA idSector CDATA #REQUIRED
nombre CDATA #REQUIRED
modelo CDATA #REQUIRED
color CDATA #REQUIRED
]>
<PROYECTO nombre="CoberturaCDMA_TDMA" mapa="provenza.asc" version="0.9">
<SITES>
<SITE nombre="SiteTDMA" alturaTorre="40.0" alturaReceptor="1.7">
```

```

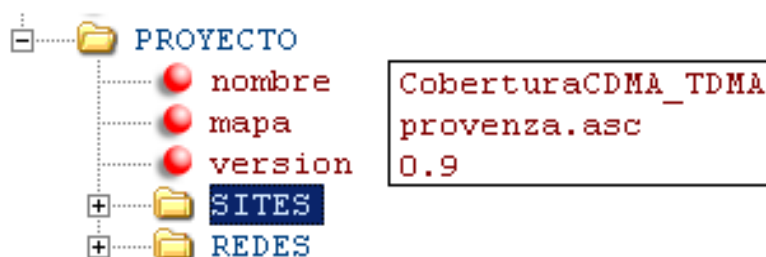
<SECTOR idSector="1" azimuth="45.0" pire="42.48" frecuencia="880.11"
altura="1.0" antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
<SECTOR idSector="2" azimuth="280.0" pire="42.48" frecuencia="880.11" altura="1.0"
antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
<SECTOR idSector="3" azimuth="160.0" pire="42.48" frecuencia="880.11"
altura="1.0" antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
</SITE>
</SITES>
<REDES>
<RED nombre="RED1">
<RED_SITE nombre="BS_TDMA" alturaTorre="40.0" alturaReceptor="1.7" utmX="1106203.2"
utmY="1275424.4">
<SECTOR idSector="1" azimuth="45.0" pire="42.48" frecuencia="880.11"
altura="1.0" antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
<COBERTURA idSector="1"
nombre="RED1_BS_TDMA_1_AndinoUIS_(1106203.2,1275424.4)_SUPERIOR_DERECHO"
modelo="AndinoUIS" color="51:51:255" />
<SECTOR idSector="2" azimuth="280.0" pire="42.48" frecuencia="880.11"
altura="1.0" antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
<COBERTURA idSector="2"
nombre="RED1_BS_TDMA_2_AndinoUIS_(1106203.2,1275424.4)_TOTAL"
modelo="AndinoUIS" color="153:153:0" />
<SECTOR idSector="3" azimuth="160.0" pire="42.48" frecuencia="880.11"
altura="1.0" antena="855DDH90E.txt" inclinacionAntena="3.0" />
<COBERTURA idSector="3"
nombre="RED1_BS_TDMA_3_AndinoUIS_(1106203.2,1275424.4)_SUPERIOR_IZQUIERDO"
modelo="AndinoUIS" color="0:204:204" />
</RED_SITE>
</RED>
</REDES>
</PROYECTO>

```

Como se había mencionado anteriormente, el archivo XML inicia con la versión de XML, el tipo de documento y el DTD asociado. Posteriormente aparece la etiqueta <PROYECTO> (elemento raíz del documento XML), el cuál esta conformado por:

- nombre: Nombre del proyecto.
- mapa: Ubicación del archivo del mapa dentro del proyecto, la ruta es de la forma *Archivo\_Proyecto.jar!\Nombre\_Mapa*.
- version: Especifica la versión de CellGis con la que es compatible el proyecto.

PROYECTO está constituido por los elementos SITES y REDES, tal y como se muestra en la figura 2.4.



**Figura 2.4** Elemento PROYECTO.

La etiqueta <SITES> (Figura 2.5), contiene todos los elementos SITE creados, quedando a disposición del usuario para ser reutilizados en las redes que defina en el proyecto por medio del elemento RED\_SITE (que se definirá más adelante).



**Figura 2.5** Elemento SITES.

La etiqueta <SITE> (Figura 2.6), indica los sites creados en el proyecto, contiene los sectores que lo constituyen identificados por el elemento SECTOR (son tantos como el usuario genere) y los siguientes atributos que definen sus principales características:

- nombre: Define el nombre del site.
- alturaTorre: Especifica la altura (en metros) de la torre del site.
- alturaReceptor: Indica la altura (en metros) del receptor.

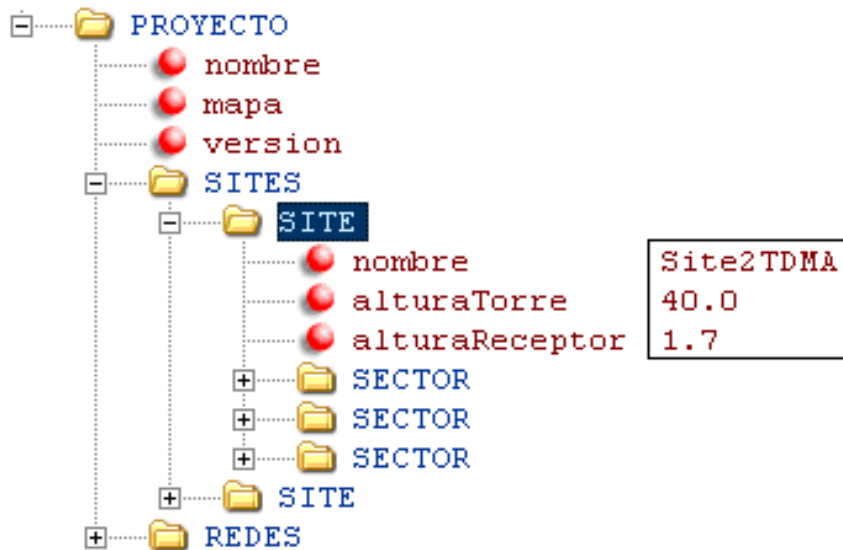


Figura 2.6 Elemento SITE.

La etiqueta <SECTOR> (Figura 2.7), contiene los datos de un sector que se haya definido para un site, estos datos vienen dados por los siguientes atributos:

- idSector: Id que identifica al sector dentro del site.
- azimut: Orientación de la antena transmisora respecto al norte geográfico.
- pire: Es la potencia de transmisión, incluida la ganancia de la antena transmisora.
- frecuencia: Número de cambios por segundo que sufre la onda electromagnética.
- altura: Distancia en metros desde la base de la torre hasta la ubicación de la antena.
- antena: Nombre de la antena utilizada por el usuario.
- inclinaciónAntena: Inclinación con respecto a la vertical.

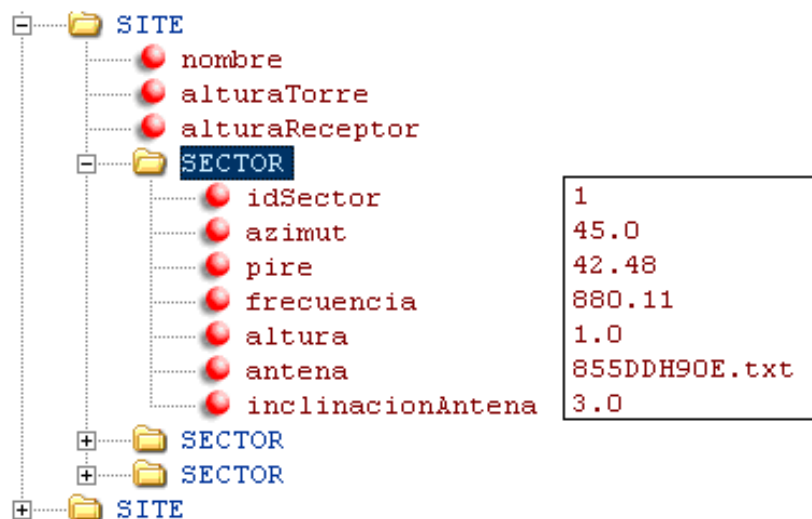


Figura 2.7 Elemento SECTOR.

La etiqueta <REDES> contiene todos los elementos RED creados, esto quiere decir que el usuario podrá disponer siempre de las redes que haya creado en el proyecto.

La etiqueta <RED> contiene la referencia a los sites que la constituyen por medio de los elementos RED\_SITE (que se describirán a continuación) y los siguientes atributos:

- nombre: Nombre de la red, la identifica de forma única dentro del proyecto.

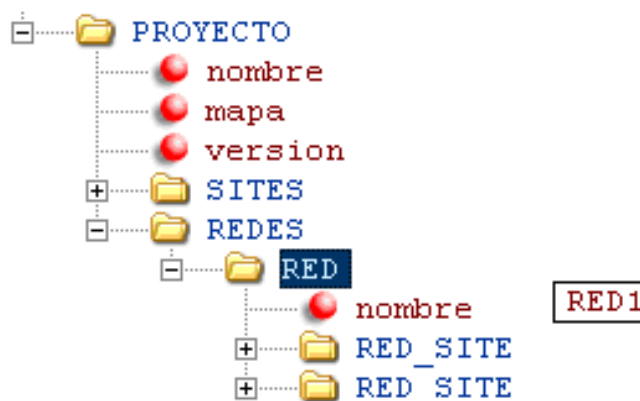
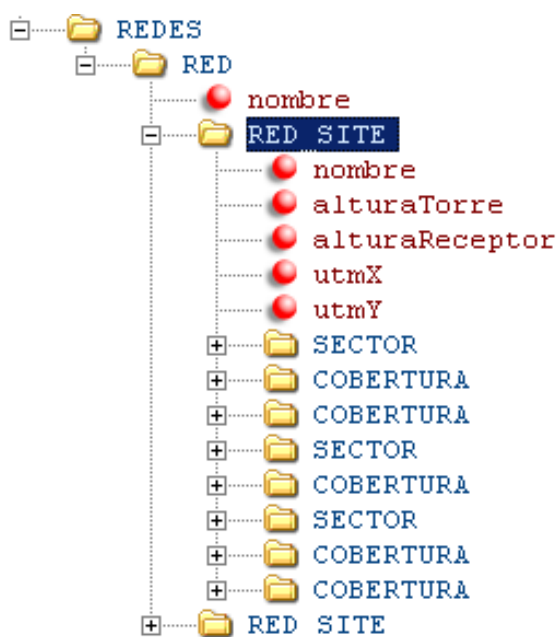


Figura 2.8 Elemento REDES y RED.

La etiqueta <RED\_SITE> (Figura 2.9), define un site que pertenece a una red, contiene los sectores (definidos anteriormente) que lo conforman y las coberturas asociadas (COBERTURA se explicará a continuación) y los siguientes atributos que describen sus principales características son:

- nombre: Nombre con el que se identifica el site en la red.
- alturaTorre: Altura de la torre (en metros).
- alturaReceptor: Altura del receptor (en metros).
- utmX: Componente X de la coordenada UTM en la que está ubicado el site dentro del mapa.
- utmY: Componente Y de la coordenada UTM en la que está ubicado el site dentro del mapa.



**Figura 2.9** Elemento RED\_SITE.

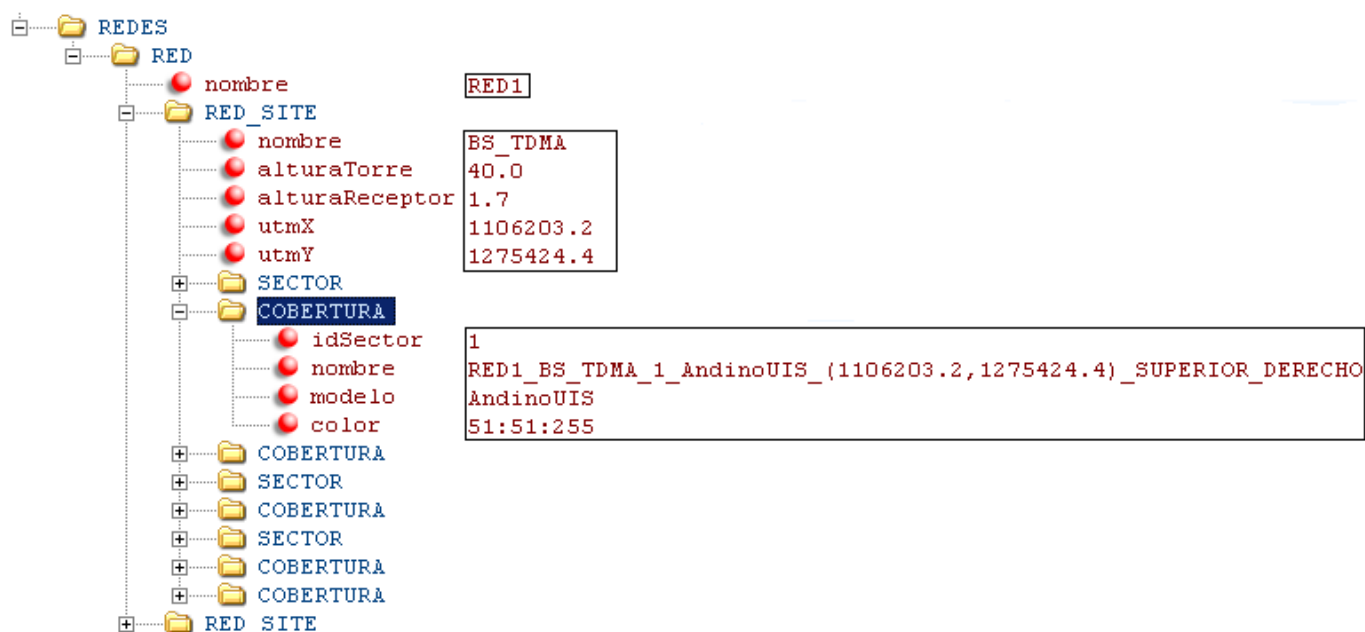
La etiqueta <COBERTURA> (Figura 2.10), contiene la información de las coberturas asociadas a los sectores de la red; los siguientes atributos definen este elemento:

- idSector: Id del sector al que se asocia la cobertura.

- nombre: Nombre del archivo asociado a la cobertura. Este nombre esta compuesto de la siguiente manera:

*nombreRed\_nombreRedSite\_idSector\_nombreModelo\_(utmX,utmY)\_nombreCuadrante*

- Modelo: Nombre del modelo que generó la cobertura.
- Color: Este atributo contiene los componentes rojo, verde y azul que conforman el color de despliegue de la cobertura, que fue seleccionado por el usuario en el momento de la simulación.



**Figura 2.10** Elemento COBERTURA.

La herramienta CellGis, cumple con las características necesarias que busca la Alianza RadioGIS, para el correcto análisis del espectro radioeléctrico, brindándole al usuario una interfaz de fácil comprensión y uso. También es de resaltar la importancia de implementar en el archivo del proyecto el formato XML, permitiendo así, la posibilidad del intercambio de información de una forma sencilla y segura entre diferentes herramientas con las que pueda interactuar el CellGis.

### CAPITULO 3

#### MODELO DE PROPAGACION ANDINO-UIS<sup>®</sup>

Los modelos de propagación existentes hasta el momento plantean un enfoque de desarrollo a un tipo de ambiente en especial, sea urbano, rural o afectado por montañas. Las investigaciones realizadas por Piazzzi<sup>18</sup> y Saunders<sup>19</sup> han hecho postulaciones para entornos urbanos sobre terreno montañoso y Eliades<sup>20</sup> se ha enfocado a consideraciones particulares del terreno. Sólo Saunders<sup>21</sup> plantea un modelo general aunque no se ha verificado. Esta problemática plantea un punto de partida para el desarrollo de teorías que involucran condiciones geográficas características del entrono andino en el cual se encuentra nuestro país. El algoritmo de propagación AndinoUIS es un importante aporte del grupo RadioGIS en cooperación con el grupo I2T y el GCMV que tiene en cuenta las posibles accidentalidades que se presentan en las zonas rurales y urbanas de la región andina. Principalmente combina el potencial del modelo COST231-Walfisch-Ikegami, modelo propuesto por el COST 231<sup>22</sup>, una modificación de los modelos desarrollados por Walfisch<sup>23</sup> e Ikegami<sup>24</sup>, la Teoría Uniforme de Difracción (UTD) y la difracción por múltiple filo de cuchillos con ajustes de aplicación práctica ya que

<sup>18</sup> PIAZZI, Leonard and BERTONI, Henry L.. Effect of terrain on path loss in urban environments for wireless applications. En : IEEE Transactions Antennas and Propagation. Vol. 46, No. 8 (aug. 1998); p. 1138-1147.

<sup>19</sup> SAUNDERS, Simon R. and BONAR, F. R.. Prediction of mobile radio wave propagation over buildings of irregular heights and spacings. En : IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol.42, No.2 (feb. 1994); p.137-144.

<sup>20</sup> ELIADES, D.E. Terrain simulation for the cascaded cylinder diffraction model. En : IEE Proceedings-H. Vol. 140, No. 4 (aug. 1993); p. 285-291.

<sup>21</sup> SAUNDERS, Op. cit., p.137-144.

<sup>22</sup> COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES AND COST TELECOMMUNICATIONS. Digital mobile radio towards future generation systems : COST 231 Final Report. Brussels : COST, 1999. p. 134-140, 158-166.

<sup>23</sup> WALFISCH, Joram and BERTONI, Henry L.. A theoretical model of UHF propagation in urban environments. En : IEEE Transactions Antennas and Propagation. Vol. 36, No. 12 (dec. 1988); p. 1788-1796.

<sup>24</sup> IKEGAMI, F.; TAKEUCHI, T. and YOSHIDA, S.. Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio. En : IEEE Transactions Antennas and Propagation. Vol. 39, No. 3 (mar. 1991); p. 299-302.

ciertos parámetros tienen mayor o menor relevancia debido a peculiaridades del relieve andino y a la necesidad de obtener simulaciones en tiempo real. De aquí la necesidad de abordar estos temas para comprender el modelo AndinoUIS.

### 3.1 Fundamentos Teóricos.

#### 3.1.1 COST231-Walfisch-Ikegami

Guiándonos de un estudio similar acerca de modelos de propagación encontramos como referencia el trabajo “*Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado*”<sup>25</sup>, donde presenta como el modelo COST231-Walfisch-Ikegami, incorpora estimaciones de Path Loss dados por parámetros como: alturas de los edificios ( $h_{Roof}$ ), ancho de las calles ( $w$ ), distancia de la antena Transmisora hasta el receptor ( $d$ ), Altura del Receptor, distancia Promedio entre edificios ( $b$ ), ángulo de incidencia de la onda de propagación con respecto al horizonte ( $\alpha$ ), y distancia entre el primero y ultimo obstáculo presente en la trayectoria directa de la onda de propagación se realiza un breve descripción acerca de la estimación de cobertura en un punto con características mostradas en la Figura (3.1).

---

<sup>25</sup> García Ariza Alexis P, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

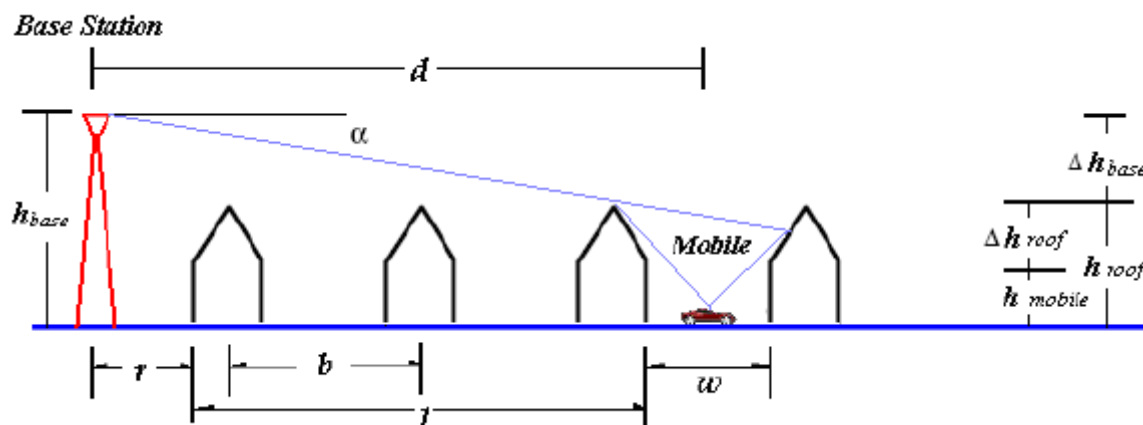


Figura 3.1 Parámetros tenidos en cuenta en el modelo de Propagación Andino UIS.

Este modelo de propagación de tipo estadístico proporciona niveles de predicción limitados, debido a que sus parámetros son tomados a partir de análisis empíricos. Diferencia entre situaciones de línea de Vista (Line Of See) o sin línea de Vista (Not Line Of See). Para el caso de LOS la frecuencia y la distancia son los únicos parámetros importantes al momento de calcular las pérdidas efectuadas por el espacio libre proporcionando una definición de pérdidas como la ecuación (3.1)

$$L(dB) = 42.6 + 26 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (3.1)$$

Con la particularidad de que las distancias ( $d$ ) que son tomadas a consideración sean mayores a 20 metros. ( $d$  es expresada en Km y  $f$  en MHz).

Para situaciones de NLOS el modelo tiene en cuenta pérdidas por espacio libre ( $L_0$ ), pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del último edificio ( $L_{msd}$ ), pérdidas ocasionadas por el techo del último edificio y un proceso de dispersión ocurrido a ésta altura ( $L_{rts}$ ) y pérdidas por difracción en las convergencias de vías ( $L_{cv}$ ), todo esto conforma el conjunto de pérdidas cuando no hay línea de vista directa.

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd} \text{ para } L_{rts} + L_{msd} > 0 \quad (3.2)$$

Las pérdidas por espacio Libre ( $L_0$ ) solo toma en consideración la frecuencia de transmisión y la distancia mínima entre transmisor-receptor, enunciada de la siguiente forma

$$L_0 = 32.4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (3.3)$$

Las pérdidas ocasionadas por el último edificio ( $L_{rts}$ ) se determinan de la siguiente forma

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(\Delta h_{mobile}) + L_{Ori} \quad (3.4)$$

Donde  $w$  representa la distancia entre las caras de los edificios ubicados a los lados de la calle donde se encuentra el receptor, este valor puede aproximarse a  $b/2$ <sup>26</sup>,  $\Delta h_{mobile}$  es dado por la altura del ultimo edificio y la altura del receptor ( $\Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{mobile}$ ), La función anterior fue posteriormente corregida por Har-Dongsoo<sup>27</sup>, resultando la ecuación:

$$L_{rts} = -8.2 - 10 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(\Delta h_{mobile}) + L_{Ori} \quad (3.5)$$

El termino final  $L_{Ori}$  tiene en cuenta la orientación de las calles a un ángulo  $\varphi$  como se muestra en la figura (3.2).

<sup>26</sup> Este valor representaría la mitad de la distancia promedio que hay entre edificios expresado en metros.

<sup>27</sup> Dongsoo Har, Alix M. Watson and Anthony G. Chadney, “ Comment on Diffraction Loss of Rooftop-to-Street in COST 231-Walfisch-Ikegami Model”, *IEEE Trans. Vehicular Technology*.

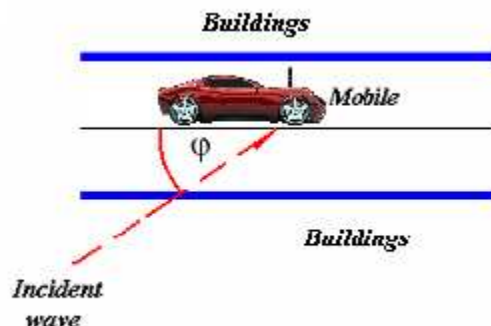


Figura 3.2 Orientación de La Onda de Incidencia.

El modelo proporciona este parámetro con tres condiciones que son enunciadas en la ecuación (3.4)

$$L_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \rightarrow 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35) & \rightarrow 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55) & \rightarrow 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.6)$$

Para las pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del último edificio ( $L_{msd}$ ) se plantea

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(b) \quad (3.7)$$

Siendo  $d$  la distancia entre el transmisor y el receptor,  $f$  la frecuencia de transmisión,  $b$  la distancia media entre edificios,  $L_{bsh}$  se plantea de la siguiente manera:

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 + \Delta h_{base}) & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 0 & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.8)$$

$K_a$  representa el incremento de Path Loss debido a una antena de la radio base ubicada a una altura menor a la de los techos de los edificios adyacentes:

$$K_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} & \text{para } d \geq 0.5\text{km y } h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} \frac{d}{0.5} & \text{para } d < 0.5\text{km y } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.9)$$

$\Delta h_{base}$  es dado por:

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{Roof} \quad (3.10)$$

$K_d$  controla la dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples filos de cuchillos versus la distancia de radio.

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{Base}}{h_{Roof}} & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.11)$$

$K_f$  controla la dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples filos de cuchillos versus la frecuencia de radio.

$$K_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \left\{ \begin{array}{l} \text{para ciudades medianas} \\ \text{y centros suburbanos con} \\ \text{mediana densidad de arboles} \end{array} \right. \\ 1.5 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \left\{ \begin{array}{l} \text{para centros metropolitanos} \end{array} \right. \end{cases} \quad (3.12)$$

Por otro lado, si las características de los edificios y las calles son desconocidas, el modelo plantea valores por defecto, parámetros pueden ser utilizados para la realización de un trabajo aproximado:

$$h_{roof} = \begin{cases} 3m \cdot n_{floors} & \text{para techos planos} \\ 3m \cdot n_{floors} + 3m & \text{para techos puntiagudos} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$b = 20 \dots 50 \text{ m}, \quad w = \frac{b}{2}, \quad f = 90^\circ$$

En general el modelo planteado de esta forma proporciona la posibilidad de errores para condiciones donde  $h_{Base} \approx h_{Roof}$  y un desempeño pobre cuando  $h_{Base} \ll h_{Roof}$ . Por otro lado, debido a que los parámetros  $b$ ,  $w$  y  $\varphi$  no son considerados físicamente significativos en microceldas el error en la predicción de Path Loss en estos casos puede ser demasiado grande

El modelo no considera propagación multi-trayectoria y su confiabilidad en la estimación del Path Loss disminuye si el terreno no es plano o si la región de cobertura no es homogénea.

### 3.1.2 Convergencia de vías

En un análisis de entornos indoors u outdoors<sup>28</sup> los estudios de radiopropagación son considerados los fenómenos físicos como la Reflexión, Difracción, Scattering<sup>29</sup>, transmisión a través de las paredes y pérdidas en espacio libre.

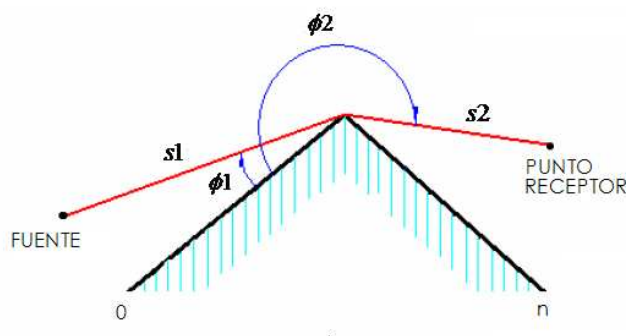
Al analizar entornos *outdoors* las pérdidas por espacio representan uno de los parámetros de mayor interés, sin restarle importancia al resto de fenómenos de propagación puesto que no dejan de contribuir a las pérdidas. El análisis del entorno característico de una convergencia de vías, lleva a la conclusión de que la Difracción en las esquina<sup>30</sup> es el principal fenómeno ocuriente. El presente estudio ha hecho énfasis en éste factor para determinar el comportamiento de las señales en dichas zonas. La Figura 3.3 muestra la geometría que se tiene en cuenta para los cálculos

<sup>28</sup> En entornos outdoors se habla de cientos de metros, mientras que a nivel indoors se hace referencia a metros.

<sup>29</sup> Es un fenómeno que se produce cuando un rayo de luz compuesta se refracta en algún medio quedando separados sus colores constituyentes.

<sup>30</sup> El término esquina proporcionado a un elemento conformado por la intersección de dos paredes correspondientes a un edificio, o cualquier otro elemento que presente esta particular forma.

del campo en el punto receptor, donde se muestran parámetros que son mencionados en la recomendación de la ITU-R P.526-8<sup>31</sup>.



**Figura 3.3** Geométrica Básica de Difracción de esquinas.

La formulación de la UTD esta dada de por la ecuación (3.14)

$$e_{UTD} = e_0 \frac{e^{-jks_1}}{s_1} D_{||\perp} \sqrt{\frac{s_1}{s_2(s_1 + s_2)}} e^{-jks_2} \quad (3.14)$$

Donde los parámetros tenidos en cuenta son enunciados a continuación:

- $e_{UTD}$  : Magnitud de campo en el punto receptor.
- $e_0$  : Magnitud de campo de la fuente.
- $s_1$  : Distancia de la fuente a la esquina de difracción.
- $s_2$  : Distancia de la esquina de difracción hasta el punto receptor.
- $k$  : Número de onda  $\frac{2\pi}{\lambda}$
- $D_{||\perp}$  : Coeficiente de difracción dependiendo de la polarización de la señal paralela o perpendicular al plano de incidencia del campo incidente en la esquina.

<sup>31</sup> Recommendation ITU-R P.526-8 "Propagation by diffraction".

El coeficiente de difracción para una esquina de conducción infinita está dado por:

$$D_{\parallel\perp} = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2\pi\sqrt{2\pi k}} \left\{ \begin{array}{l} \cot\left(\frac{\pi + (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^+(\phi_2 - \phi_1)) \\ + \cot\left(\frac{\pi - (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^-(\phi_2 - \phi_1)) \\ + R_0_{\parallel\perp} \cot\left(\frac{\pi - (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^-(\phi_2 - \phi_1)) \\ + R_n_{\parallel\perp} \cot\left(\frac{\pi + (\phi_2 + \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^+(\phi_2 + \phi_1)) \end{array} \right. \quad (3.15)$$

Donde  $\phi_1$  es el ángulo de incidencia,  $\phi_2$  es el ángulo de difracción,  $n$  es el ángulo externo de la esquina múltiplo de  $\pi$  radianes. Por ejemplo si el ángulo interno de la esquina es  $0.5\pi$  ( $90^\circ$ ), el ángulo externo será  $1.5\pi$  ( $270^\circ$ ) y  $n = 1.5$  y por último la función  $F(x)$  la integral de Fresnel que se enuncia como la ecuación (3.16)

$$F(x) = 2j\sqrt{x}e^{jx} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-jt^2} dt \quad (3.16)$$

Si se hace una descomposición de la integral impropia encontrar una expresión de la forma que se muestra en la ecuación (3.17)

$$\int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-jt^2} dt = \sqrt{\frac{\pi}{8}}(1-j) - \int_0^{\sqrt{x}} e^{-jt^2} dt \quad (3.17)$$

El valor de  $L$  es dado por la ecuación (3.18),

$$L = \frac{s_1 \cdot s_2}{s_1 + s_2} \quad (3.18)$$

La función  $a^\pm(\beta)$  es evaluada de la siguiente forma

$$a^\pm(\beta) = 2 \cos^2 \left( \frac{2\pi n N^\pm - \beta}{2} \right) \quad (3.19)$$

Donde el valor de  $\beta = \phi_2 \pm \phi_1$  y  $N^\pm$  son los primeros números que satisfacen la ecuación (3.20)

$$N^\pm = \frac{\beta \pm \pi}{2n\pi} \quad (3.20)$$

Los términos  $R_0 \parallel$ ,  $R_n \parallel$ , son los coeficientes de reflexión para los casos de polarización paralela o perpendicular y están dados por la ecuación (3.21) y (3.22) respectivamente

$$R \parallel = \frac{\sin(\phi) - \sqrt{\eta - \cos^2(\phi)}}{\sin(\phi) + \sqrt{\eta - \cos^2(\phi)}} \quad (3.21)$$

$$R \parallel = \frac{b \cdot \sin(\phi) - \sqrt{\eta - \cos^2(\phi)}}{b \cdot \sin(\phi) + \sqrt{\eta - \cos^2(\phi)}} \quad (3.22)$$

Con  $\phi = \phi_1$  para  $R_0$  y  $\phi = (n\pi - \phi_2)$  para  $R_n$ , el parámetro  $\eta$  es dado por

$$\eta = \epsilon_r - j \cdot 18 \cdot 10^9 \frac{\sigma}{f} \quad (3.23)$$

Donde  $\epsilon_r$  es la constante dieléctrica relativa del material de la esquina,  $\sigma$  es la conductividad del material de la esquina (S/m) y  $f$  es la frecuencia (MHz).

Cuando la función cotangente llega a ser singular (cuando  $\phi_2 - \phi_1 = \pi$ ) se aplica una ecuación dada por Bertoni<sup>32</sup>.

Al encontrar casos donde exista línea de vista o no la UTD diferencia, según la ecuación (3.24).

$$e_{LD} = \begin{cases} e_{UTD} + \frac{e^{-jks}}{s} & \text{for } \phi_2 < \phi_1 + \pi \text{ LOS} \\ e_{UTD} & \text{for } \phi_2 \geq \phi_1 + \pi \text{ NOS} \end{cases} \quad (3.24)$$

El término  $s$  representa la distancia entre la Fuente y el receptor.

Presentado todas las ecuaciones anteriores se determina el campo en un punto con condiciones de difracción de la siguiente forma:

$$E_{UTD} = 20 \log \left( \left| \frac{s \cdot e_{UTD}}{e^{-jks}} \right| \right) \quad (3.25)$$

Donde se tiene en cuenta que las dos superficies que conforman la esquina poseen propiedades eléctricas semejantes, es decir, tanto la constante dieléctrica relativa ( $\epsilon_r$ ) como la conductividad ( $\sigma$ ), son constantes en todo el material. La difracción viene a ser dependiente de varios parámetros: la frecuencia ( $f$ ), las distancias relativas entre el transmisor y receptor con respecto al elemento difractor ( $s_1, s_2$ ), los ángulos de incidencia y reflexión de los campos con respecto al elemento difractor ( $\phi_1, \phi_2$ ) y los coeficientes de difracción y reflexión para una señal con polarización paralela o perpendicular ( $D_{||\perp}$ ,  $R_{||\perp}$ ).

Para el desarrollo de la UTD dentro de la Herramienta de tipo GIS deberíamos tener datos acerca de las propiedades eléctricas de cada uno de los elementos que

<sup>32</sup> Henry L. Bertoni, *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, USA: Prentice Hall PTR, 2000.

intervienen en el cálculo de las pérdidas, esto sería el conocer las propiedades de cada obstáculo presente en la línea de visión entre el transmisor y el receptor, por tanto se plantea una reformulación de la teoría en donde las propiedades eléctricas tengan un papel menos importante al momento de calcular el campo final proporcionado por la difracción de una esquina.

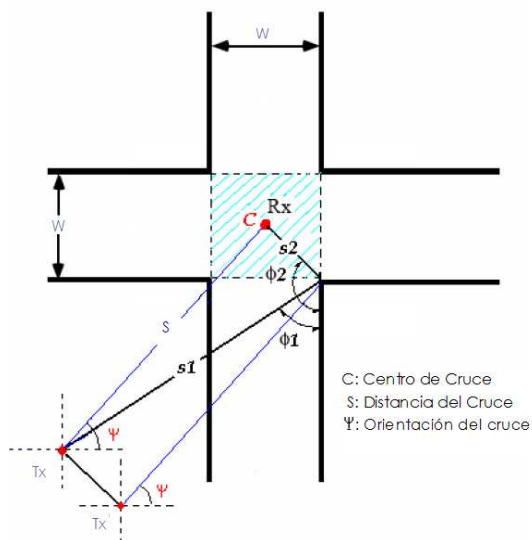
Para la reformulación de la UTD se hace referencia al trabajo “*Desarrollo del modelo de propagación Andino UIS*”<sup>33</sup> donde se realizan análisis comparativos, y se tiene una guía de simulación del comportamiento de la señal en los alrededores de una esquina usando datos específicos provenientes de una base de datos.

Se llega a la conclusión que al momento de omitir las propiedades eléctricas de la superficie, no se incurra en errores considerables.

Por tanto ya conociendo la teoría de Difracción de esquinas se puede plantear cual es la Difracción existente en una convergencia de vía. Geométricamente esta se puede representar como la Figura (3.4)

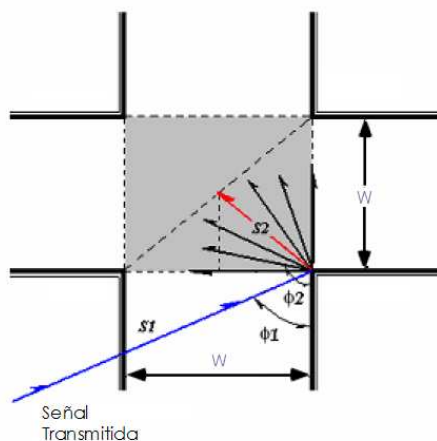
---

<sup>33</sup> Carreño Lizarazo Yair I., *Desarrollo del modelo de propagación Andino UIS*®, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia. 2005



**Figura 3.4** Geometría básica de una convergencia de vías.

Debe realizarse un replanteamiento teniendo en cuenta que la herramienta de planificación (Cellgis) carece de cierta información acerca de los obstáculos, como son las propiedades dieléctricas del material de construcción de los edificios. Mejor aun, debido a que el rango de interés es limitado al cuadrante que representa el cruce de la vía como tal,  $\frac{\pi}{2} < \phi2 < \pi$  (Figura 3.5), se puede realizar las siguientes aproximaciones:



**Figura 3.5** Área de una convergencia

$$\phi_1 \approx \psi \quad (3.26)$$

Donde  $\psi$  es la Orientación del cruce

$$\phi_2 = \frac{3}{4}\pi = 135^\circ \quad (3.27)$$

$\phi_2$  se plantea como un ángulo fijo si se tiene en cuenta que la posición de interés es el centro de la Convergencia de las vías.

$$S_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} w \quad (3.28)$$

$S_2$  es dado como la distancia desde el vértice del ángulo recto de un triángulo creado con lados iguales al ancho de las calles, hasta el centro de convergencia de la vía.

$$S_1 \approx S \quad \text{para} \quad S_1 \gg S_2 \quad (3.29)$$

$S_1$  es aproximado a la distancia de la fuente de transmisión hasta el centro de la convergencia de la vía.

Con estas aproximaciones la UTD se puede expresar de la siguiente forma:

$$e_{UTD} = \left[ \frac{e_0}{s} |D| \sqrt{\frac{s}{0.707ws + 0.5w}} \right] e^{-jk \left( s + 0.707w + \frac{\pi}{4k} \right)} \quad (3.30)$$

Donde  $w$  = ancho promedio de las vías,  $k = \frac{\pi f}{150}$  y el término:

$$L = \frac{ws}{w+1.414s} \quad (3.31)$$

$$a^{\pm}(\beta) = 2 \cos^2 \left( \frac{2n\pi N^{\pm} - \beta}{2} \right) \quad (3.32)$$

- Si  $\beta = \frac{3}{4}\pi - \psi$  entonces:

$$a^+ \left( \frac{3}{4}\pi - \psi \right) = 2 \cos^2 \left( \frac{3\pi N^+ + \psi - \frac{3}{4}\pi}{2} \right) \text{ con } N^+ = \frac{\frac{7}{4}\pi - \psi}{3\pi} \quad (3.33)$$

$$a^- \left( \frac{3}{4}\pi - \psi \right) = 2 \cos^2 \left( \frac{3\pi N^- + \psi - \frac{3}{4}\pi}{2} \right) \text{ con } N^- = \frac{-\frac{\pi}{4} - \psi}{3\pi} \quad (3.34)$$

- Si  $\beta = \frac{3}{4}\pi + \psi$  entonces:

$$a^+ \left( \frac{3}{4}\pi + \psi \right) = 2 \cos^2 \left( \frac{3\pi N^+ - \frac{3}{4}\pi - \psi}{2} \right) \text{ con } N^+ = \frac{\frac{7}{4}\pi + \psi}{3\pi} \quad (3.35)$$

$$a^- \left( \frac{3}{4}\pi + \psi \right) = 2 \cos^2 \left( \frac{3\pi N^- - \frac{3}{4}\pi - \psi}{2} \right) \text{ con } N^- = \frac{\psi - \frac{\pi}{4}}{3\pi} \quad (3.36)$$

Como resultado se tiene

$$E_{UTD} = 20 \log |s \cdot e_{UTD}| \quad (3.37)$$

### 3.1.2.1 Integral de Fresnel

Para el cálculo de la UTD se debe resolver la integral de Fresnel, por motivos de algoritmo se busca encontrar la respuesta de esta integral por medio de aproximación numérica como se muestra a continuación:

$$F(x) = 2j\sqrt{x}e^{jx} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-jt^2} dt \quad (3.38)$$

$$\int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-jt^2} dt = \sqrt{\frac{\pi}{2}} A(x) \quad (3.39)$$

$$A(x) = \begin{cases} \frac{1-j}{2} - e^{-jx} \sqrt{\frac{x}{4} \sum_{n=0}^{11} \left[ \left( (a_n + jb_n) \left[ \frac{x}{4} \right]^n \right) \right]} & \text{si } \rightarrow x < 4 \\ -e^{-jx} \sqrt{\frac{x}{4} \sum_{n=0}^{11} \left[ \left( (c_n + jd_n) \left[ \frac{4}{x} \right]^n \right) \right]} & \text{si } \rightarrow x > 4 \end{cases} \quad (3.40)$$

a0 = +1.595769140	b0= -0.000000033	c0 = +0.000000000	d0 = +0.199471140
a1 = -0.000001702	b1= +4.255387524	c1 = -0.024933975	d1 = +0.000000023
a2 = -6.808568854	b2= -0.000092810	c2 = +0.000003936	d2 = -0.009351341
a3 = -0.000576361	b3= -7.780020400	c3 = +0.005770956	d3 = +0.000023006
a4 = +6.920691902	b4= -0.009520895	c4 = +0.000689892	d4 = +0.004851466
a5 = -0.016898657	b5= +5.075161298	c5 = -0.009497136	d5 = +0.001903218
a6 = -3.050485660	b6= -0.138341947	c6 = +0.011948809	d6 = -0.017122914
a7 = -0.075752419	b7= -1.363729124	c7 = -0.006748873	d7 = +0.029064067
a8 = +0.850663781	b8= -0.403349276	c8 = +0.000246420	d8 = -0.027928955
a9 = -0.025639041	b9= +0.702222016	c9 = +0.002102967	d9 = +0.016497308
a10 = -0.150230960	b10= -0.216195929	c10 = -0.001217930	d10 = -0.005598515
a11 = +0.034404779	b11= +0.019547031	c11 = +0.000233939	d11 = +0.000838386

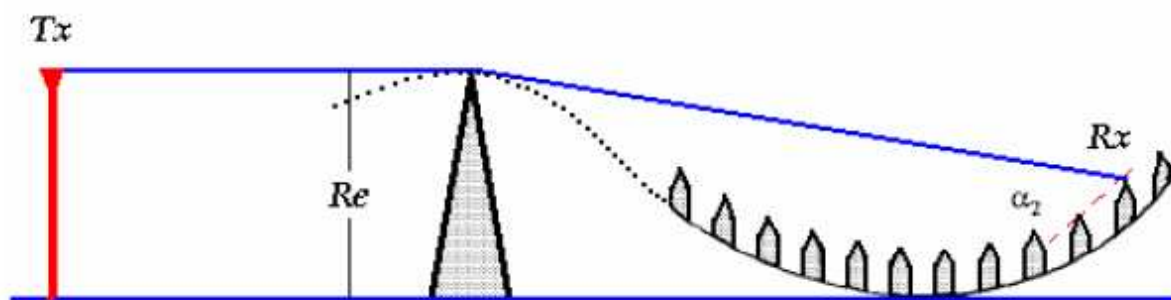
El planteamiento de la Integral numéricamente Facilita el flujo del algoritmo, permitiendo un mejor desempeño del mismo.

### 3.1.3 Modelamiento del terreno

Para realizar el modelamiento de un entorno debemos tener en cuenta la forma como los obstáculos se encuentran a lo largo de las trayectorias o rutas de la línea directa entre transmisor y receptor, caracterizar de la mejor manera el impacto que ocasionan, en factor del desvanecimiento de la magnitud de la señal. Para calcular las pérdidas que ocasionan dichos obstáculos, se suele idealizar la forma del mismo. En la radio propagación existen dos técnicas muy conocidas que son: Difracción por filos de cuchillo y Difracción por cilindros. A continuación se presenta brevemente en que consiste cada una de ellas.

#### 3.1.3.1 Difracción por filo de cuchillos

En ésta aproximación, el obstáculo ya sea un edificio o una prolongación del terreno (i.e. colina), es aproximado a un filo de cuchillo, es decir el obstáculo es considerado como media pantalla absorbente, tal como se muestra en la Figura 3.6. El mecanismo de difracción en este tipo de elementos representa un caso particular de la difracción por filos y esquinas.



**Figura 3.6** Esquema Básico de método de Difracción por filos de cuchillo.

Existen varias aproximaciones de filos de cuchillos, entre ellas se destaca el método de Deygout, la corrección de Causebrook y el método de Giovanelli<sup>34</sup>. Sin embargo, para calcular las pérdidas por propagación sobre un entorno de terreno irregular, se suele emplear análisis de difracción múltiple mediante la Integral para Múltiples Filos de Cuchillos Difractores, empleada también en el desarrollo de modelos de propagación, un ejemplo es el modelo Walfisch-Bertoni<sup>35</sup> el ya mencionado modelo COST231-Walfisch-Ikegami.

### 3.1.3.2 Difracción por cilindros.

La otra técnica que ha sido propuesta por Eliades<sup>36</sup>, consiste en aproximar el obstáculo o elemento difractor mediante un cilindro, tal como se muestra en la Figura 3.7.

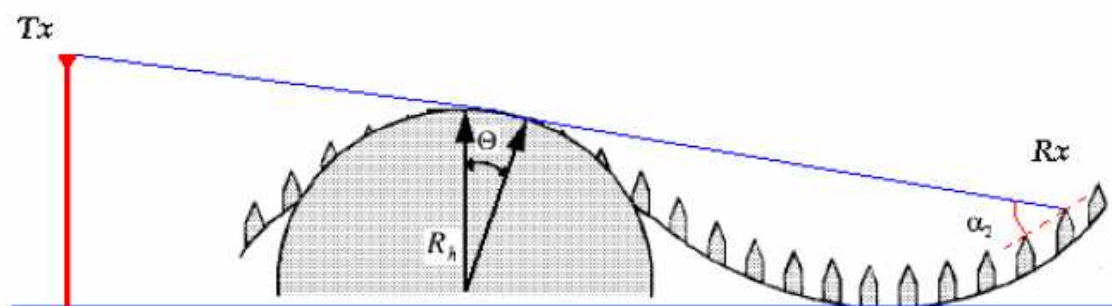


Figura 3.7 Esquema Básico del método de Difracción por Cilindros

<sup>34</sup> S.R.Saunders and F.R. Bonar. "Prediction of Mobile Radio Wave Propagation Over Buildings of Irregular Heights and Spacings". *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, Vol.42, No.2, February 1994, pp.137-144.

<sup>35</sup> Joram Walfisch and Henry L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 36, No. 12, December 1988.

<sup>36</sup> Eliades D.E., *Terrain Simulation for the Cascaded Cylinder Diffraction Model*, IEE Proceedings-H, Vol., 140, N°4, August 1993.

En la Recomendación ITU-R P.526-8: Propagación por difracción, se establece algunos lineamientos para calcular la magnitud de campo difractado utilizando las dos aproximaciones mencionadas anteriormente.

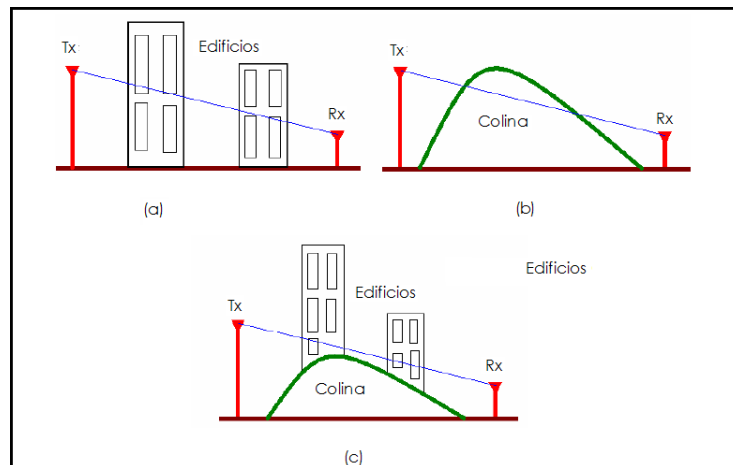
### **3.1.4 Consideraciones planteadas por el Modelo Andino UIS**

El modelo tiene en cuenta, al igual que el modelo COST231-Walfisch-Ikegami situaciones de línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS), las características de la topografía presente en nuestra región conduce al algoritmo a tener en cuenta las irregularidades del terreno.

Los sistemas Outdoor de microceldas diseñados para zonas urbanas poseen radios de cobertura menor de un kilómetro de distancia y al ubicarnos en una zona urbana, encontramos una densidad de edificios bastante considerable, a esto se le suma las características del terreno, lo que representa obstáculos entre la línea de vista (LOS) del transmisor y el receptor. Considerando lo anterior se puede decir que la predicción de las pérdidas de propagación son establecidas por una altura promedio de los obstáculos como se establece en los análisis presentados por Lee<sup>37</sup> en donde se plantea que las variaciones de terreno dentro de un área menor a un kilómetro puede ser omitidas sin incurrir en un error significativo. Por tanto se plantea la aplicación de la difracción por múltiple filo de cuchillos referenciado las alturas de los obstáculos respecto al receptor, aplicándolas en el modelo Andino UIS, quien presenta variaciones en las formulas del modelo COST231-Walfisch-Ikegami, quien fue planteado basándose en la aplicación de la difracción por filos de cuchillo.

---

<sup>37</sup> William C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, USA: McGraw-Hill Book Company, 1997.



**Figura 3.8** Son obstáculos aquellos elementos que interfieren en la línea de vista entre transmisor y receptor. (a) Edificios, (b) Prolongaciones de terreno o (c) la combinación de ambos.

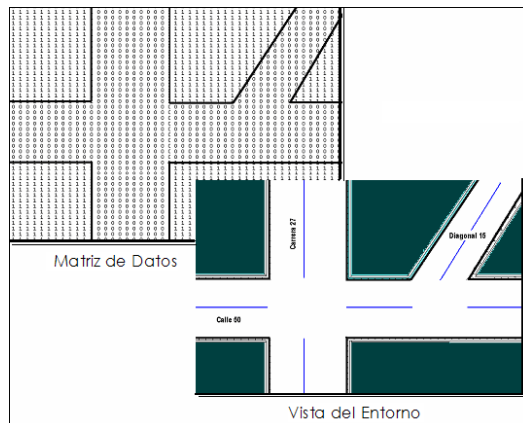
### 3.2 Análisis AndinoUIS<sup>®</sup>

Para ese te punto se presentan un análisis de las soluciones innovativas que este modelo aporta, dados por factores que no habían sido considerados en la radiopropagación para situación geográficas propias de nuestra región. Estas son determinadas por el comportamiento de las señales en presencia de vías convergentes teniendo en cuenta la orientación de las vías y omitiendo los informaciones de las propiedades eléctricas de los obstáculos, debido a que la herramienta de planificación Cellgis nos proporciona información de tipo trazado de rayos (*ray-tracing*) en donde se maneja únicamente alturas y ubicación de obstáculos.

Es muy importante el conocer si el receptor se encuentra al nivel de la calle o se encuentra sobre un edificio. Si este se encuentra al nivel de la calle, a partir de esta altura se referencia los obstáculos y cálculos de propagación de la señal. Alturas por debajo de esta altura no son de interés.

Si el receptor se encuentra en una ubicación correspondiente a el nivel de la calle, es de vital importancia el conocer que tipo de característica geográfica presenta este

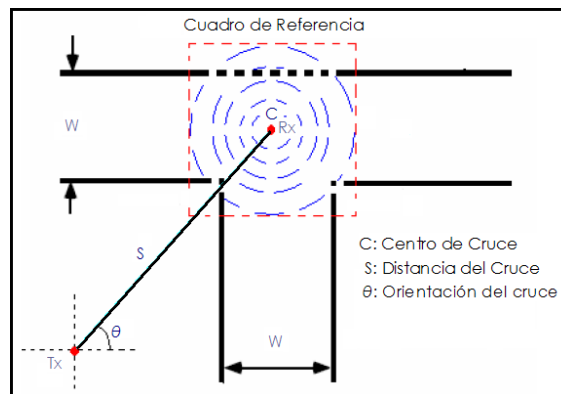
punto en cuanto a una situación de convergencia de vía o simplemente una vía, si es el primer caso es necesario obtener orientaciones correspondientes. Todo este proceso se realiza de manera selectiva de tal manera que cada paso secuencial nos conduce a acumular las características propicias para implementar el algoritmo adecuado para la obtención de la cobertura final en el punto receptor. Para poder determinar las características del entorno, alrededor de la posición receptora, con los datos proporcionados por un mapa tipo raster como es permitido en la herramienta CellGIS, el modelo toma las diferencias de alturas brutas como un parámetro eficaz para determinar si el punto como tal que se almacena dentro los elementos (perfiles, mas adelante mencionados) que se encuentra entre la trayectoria entre la Tx (Antena transmisora) y Rx (Punto receptor), es un edificio o perteneciente a una vía. En base a esto y utilizando filosofía de dos estados (Lógica Digital) figura 3.2, se realiza un barrido alrededor de la posición analizada, buscando diferencias de altura para determinar si el punto pertenece a una simple vía, una convergencia de vía, un espacio abierto o simplemente un punto correspondiente a un edificio.



**Figura 3.9** Caracterización de la topografía de un entorno por medio de Lógica Digital.

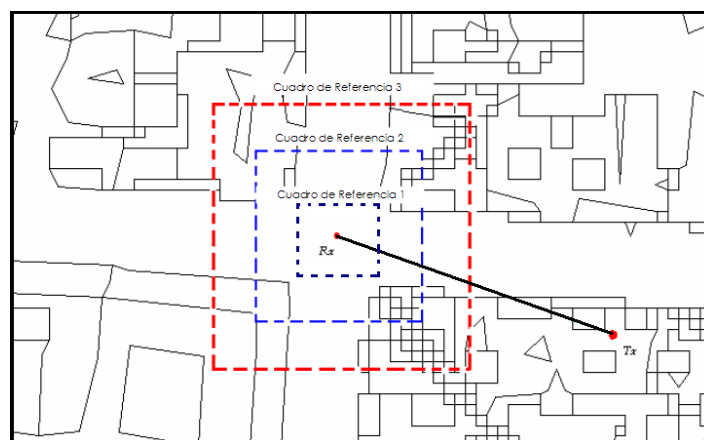
Para el barrido se tiene en cuenta simplemente una extensión de área adecuada de tal manera que con la comparación de las alturas es posible determinar las características del punto a tratar.

Es por esto que se plantea un cuadro de referencia, con dimensiones correspondientes a las distancia promedio de las vías en un entorno urbano real. Según estas características, al momento de tomar un mapa de formato ASCII la cabecera de este mapa nos proporciona el tamaño de la celda característico, por tal motivo siempre se toma la dimensión de una celda (Figura 3.10) para crear este espiral.



**Figura 3.10** Sondeo alrededor de un punto.

Es importante determinar el tamaño de la espiral, pues de esta característica depende el análisis del punto como tal; el tener un cuadro de referencia pequeño no alcanza a cubrir el terreno necesario para cubrir el área necesaria para determinar un criterio, y si el tamaño del marco es muy extenso pueden ocurrir errores al determinar espacios abiertos como convergencia de vías. Este análisis se puede ver en la siguiente grafica.

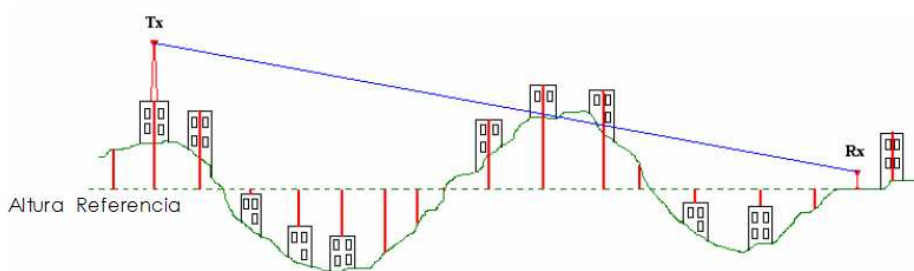


**Figura 3.11** Dimensiones del marco de referencia

Dadas estas condiciones, se toman una porción de terreno correspondiente a unas dimensiones desde 7 metros hasta 20 metros, todo esto según las dimensiones de la celda del mapa, identificando cruces con dimensiones de hasta 22 metros (mayores dimensiones se consideran espacio abierto).

Al conocer las características del punto a determinar la cobertura en cuestión, se prosigue a almacenar los perfiles que se encuentran entre el transmisor y el punto.

La altura de referencia para estos obstáculos es la del punto en la cual se le realiza predicción. Sólo representan obstáculos aquellos cuya altura esté por encima de este punto (Ilustraciones 3.12, 3.13), las condiciones dadas por el modelo conllevan a almacenar un perfil idealizado con una altura semejante y espaciados a una distancia promedio. Las ilustraciones bosquejan el procedimiento



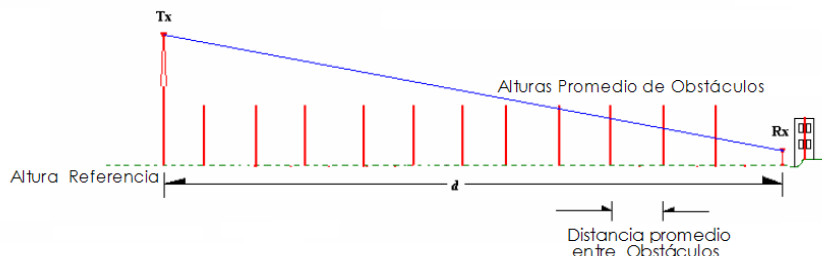
**Figura 3.12** perfil de Obstáculos.



**Figura 3.13** Perfil de Alturas de los Obstáculos

Teniendo datos preliminares acerca de los perfiles, alturas promedio de obstáculos (Figura 3.14) y las condiciones geográficas del punto en cuanto identificación de vía,

convergencia de vía o campo abierto se prosigue a determinar el tipo de pérdida que puede causar todos los parámetros al cálculo del campo en el punto determinado.



**Figura 3.14** Perfil de Alturas de los Obstáculos.

Existen dos grandes posibilidades al momento de determinar las pérdidas causadas en la propagación, estas son:

Cuando no existe ningún tipo de obstáculo entre el transmisor y el receptor en su trayectoria directa, se calcula el término de pérdidas por espacio libre en situaciones de línea de vista (LOS). En este caso el modelo andino propone pérdidas por espacio libre dadas de la siguiente manera

$$L_b(dB) = -27.558 - 20 \log(aux) + \log(f) \quad (3.41)$$

Esta pérdida tiene en cuenta la frecuencia de transmisión así como parámetros característicos de la antena, como altura de la base de la antena, ganancia directa y ganancia reflejada, todas estas tenidas se encuentran en el termino aux que es dado por:

$$aux = -\frac{G_\theta}{r_1} \left( \cos\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) \right) + \frac{G_\phi}{r_2} \sigma_m \left( \cos\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) \right) \quad (3.42)$$

Este es un patrón que considera la radiación de la Radio Base (BS) definiendo sus términos implícitos de la siguiente manera:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{h_{base} - h_{mobile}}{d} \right) \quad (3.43)$$

$$\varepsilon = 15 - j3\lambda \quad (3.44)$$

$$\sigma_m = \frac{\varepsilon \cdot \text{sen } \alpha - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}}{\varepsilon \cdot \text{sen } \alpha + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \alpha}} \quad (3.45)$$

$$r1 = \sqrt{d^2 + (h_{base} - h_{mobile})^2} \quad (3.46)$$

$$r2 = \sqrt{d^2 + (h_{base} + h_{mobile})^2} \quad (3.47)$$

$$G(\theta, \phi) = G_\theta(\theta(s, \Delta h_{mobile})) G_\phi(\phi) \quad (3.48)$$

$G_\theta$  es la ganancia de la antena directa de la antena, teniendo en cuenta el ángulo entre la línea de la distancia mínima entre transmisor y receptor ( $s$ ) y una altura diferencial del receptor  $\Delta h_{mobile}$ , este termino es dado por la altura del ultimo edificio y la altura del receptor ( $\Delta h_{mobile} = h_{roof} - h_{mobile}$ ) y  $G_\phi$  es la ganancia de la antena con el ángulo de la orientación de la posición del receptor, estas ganancias son nombradas ganancia directa ( $G_\theta$ ) y reflejada ( $G_\phi$ ) para condiciones LOS.

Todo esto es aplicable siempre y cuando:

$$d = 0.02Km \quad 800Mhz < f \leq 2000Mhz$$

$$4m < h_{base} \leq 40m \quad 1m < h_{mobile} \leq 3m.$$

Al igual que se considera la posibilidad de (LOS) se plantea las perdidas presentes cuando no existe línea de vista directa (NLOS).

Planteando pérdidas por espacio libre ( $L_0$ ), pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del último edificio ( $L_{msd}$ ), pérdidas ocasionadas por el techo del último edificio y un proceso de dispersión ocurrido a ésta altura ( $L_{rts}$ ) y pérdidas por difracción en las convergencias de vías ( $L_{cv}$ ), se tiene el total de pérdidas cuando no hay línea de vista directa.

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd} + L_{cv} \quad (3.49)$$

Las pérdidas por espacio Libre ( $L_0$ ) se encuentran en función de la distancia mínima entre el transmisor y el receptor y la frecuencia de transmisión enunciada de la siguiente forma

$$L_0 = 32.4 + 20 \cdot \log(d) + 20 \cdot \log(f) \quad (3.50)$$

Las pérdidas ocasionadas por el último edificio ( $L_{rts}$ ) se determinan de la siguiente forma

$$L_{rts} = -8.2 - 10 \cdot \log(w) + 10 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(\Delta h_{mobile}) + L_{Ori} \quad (3.51)$$

Donde  $w$  representa la distancia entre las caras de los edificios ubicados a los lados de la calle donde se encuentra el receptor, este valor puede aproximarse a  $b/2$  y es expresado en metros y el término final  $L_{Ori}$  tiene en cuenta la orientación de las calles a un ángulo  $\varphi$  de la siguiente forma

$$L_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\varphi & \rightarrow 0^\circ \leq \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi - 35) & \rightarrow 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi - 55) & \rightarrow 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.52)$$

En cuanto a pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del último edificio ( $L_{msd}$ ) se plantea

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \cdot \log(d) + k_f \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(b) \quad (3.53)$$

Siendo  $L_{bsh}$  :

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \log(1 + \Delta h_{base}) & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 0 & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.54)$$

$K_a$  representa el incremento de Path Loss debido a una antena de la radio base ubicada a una altura menor a la de los techos de los edificios adyacentes

$$K_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} & \text{para } d \geq 0.5km \text{ y } h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} \frac{d}{0.5} & \text{para } d < 0.5km \text{ y } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.55)$$

$K_d$  controla la dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples filos de cuchillos versus la distancia de radio.

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{Base}}{h_{Roof}} & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (3.56)$$

$K_f$  controla la dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples filos de cuchillos versus la frecuencia de radio.

$$K_f = -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \text{ para ciudades medianas} \quad (3.57)$$

$$\Delta h_{Base} = h_{Base} - h_{Roof} \quad (3.58)$$

Este tipo de pérdida también tiene en cuenta la frecuencia de transmisión así como la distancia promedio entre los edificios ( $b$ ).

Por último, el modelo tiene en cuenta el término  $L_{cv}$  correspondiente a la ubicación del receptor en convergencia de vías. Para modelar esta situación se utiliza la difracción de esquinas quien tiene en cuenta los coeficientes de difracción establecidos en La Teoría Uniforme de Difracción (UTD), dado por

$$L_{cv} = 20 \log |s \cdot e_{UTD}(\psi, s)| \quad (3.59)$$

Donde  $0 < \psi < 90^\circ$  y  $0.1 < s \leq 1Km$ .

A partir de este planteamiento, se implementó en lenguaje C++ el algoritmo de propagación Andino UIS, para posteriormente ser integrado dentro de la herramienta de planificación Cellview. La adaptación del modelo a la herramienta de planificación se logra a través de la modificación y creación de varios Scripts programados en el lenguaje Avenue, contenidos en la aplicación Cellview.

Este algoritmo tiene como parámetros de entrada dos archivos tipo texto. El primer archivo de entrada, son los datos de alturas (altura terreno + altura edificio) de la región del mapa en donde se desea simular el cálculo de la cobertura, y el segundo archivo de entrada contiene todos los parámetros utilizados por el modelo para su ejecución (Pire del transmisor, Ganancia del receptor, frecuencia de la portadora, altura de la torre de la BS, altura del receptor, número de filas y columnas del archivo del mapa, columna y fila en donde se encuentra ubicada la BS, azimut y la antena implementada en la BS). A partir de estos archivos, se genera el archivo de salida del modelo con los valores de intensidad de campo en cada punto del mapa en donde se realizó la cobertura. De esta manera, se cuenta con las herramientas matemáticas necesarias para desarrollar el proyecto propuesto en el presente trabajo.

## CAPITULO 4

### MODELO DE PROPAGACION ANDINOUIS EN JAVA IMPLEMENTADO EN CELLGIS

Introducir el modelo de propagación AndinoUIS, creado originalmente en lenguaje C++, a una herramienta basada en JAVA implica un cambio de paradigma en cuanto a la secuencia de utilización del código y estructura básica. El lenguaje JAVA se basa principalmente en la Programación por Objetos, en donde el concepto de reutilización de código toma un grado de importancia primordial. CellGis proporciona una arquitectura basada en plugin's<sup>38</sup>, lo que permite adicionar desarrollos y aplicaciones de nuevos formatos de mapas y modelos de propagación.

El desarrollo de un nuevo plugin viene acompañado de la creación de un archivo .jar, este es un formato de compresión que empaqueta los ficheros relacionados con la aplicación, esta da la opción de desplegarse en una sola unidad, y contiene la estructura de clases relacionadas con el modelo. Se debe crear un archivo denominado Plugin.xml quien especifica al sistema que puntos de entrada se deben tener en cuenta para poder ejecutar las diferentes implementaciones de mapas y modelos.

Para el desarrollo como tal del modelo de propagación se tiene en cuenta las interfaces que CellGis<sup>39</sup> brinda para acoplamiento. Esta es una de las grandes ventajas que se encuentra en JAVA, la forma de conformar una arquitectura que posibilita el mejoramiento de la herramienta, y el concepto de reusabilidad de código.

---

<sup>38</sup> Aplicación informática que interactúa con otra aplicación para aportarle una función o utilidad específica.

<sup>39</sup> Llano Rodríguez, María Teresa y Ardila Marín, Carlos Andredy Herramienta para análisis y planificación de redes celulares, Tesis, 2005.

De forma genérica una interfaz se define como un dispositivo o un sistema utilizado por entidades inconexas para interactuar, en java la interfaz define un conjunto de mensajes que pueden ser utilizados para muchas clases de objetos, a los que cada uno de ellos debe responder de forma adecuada. Es por esto que el nombre interfaz puede tomar el nombre de protocolo.

Para este punto es de mencionar que la acción de realizar dos o más implementaciones para un mismo formato de mapa o modelo causara conflicto en la lectura del plugin como tal, pues CellGis daría prioridad al primero que encuentre descartando los demás. Dentro de este contexto se recomienda que si existen dos o más implementaciones de mapas o modelos, las extensiones y los nombres que las identifican, deben ser diferentes para que CellGis lo pueda manipular.

## 4.1 Interfaces

La forma en la cual debe ser tratado un nuevo modelo para su construcción, viene enmarcado por el entendimiento de las interfaces del modelo y el mapa, es por esto que son presentadas a continuación.

### 4.1.1 Interfaz Mapa

Esta interfaz debe implementarse teniendo en cuenta como mínimo los siguientes métodos.

```
public interface Mapa {  
  
    public enum Cuadrante {  
        TOTAL, SUPERIOR_DERECHO, SUPERIOR_IZQUIERDO,  
        INFERIOR_DERECHO, INFERIOR_IZQUIERDO  
    }  
  
    public void dibujar(Graphics2D g);  
}
```

```

public void cargarMapa(InputStream in) throws MapaException;

public void escribirMapa(OutputStream out)
    throws MapaException;

public CoordenadaUTM getOrigen();

public Dimension getTamaño();

public float metrosPorPixel();

public Mapa getSubMapa(CoordenadaUTM ubicacionAntena,
    float radio, Cuadrante cuadrante)
    throws MapaException;

public boolean soportaSubMapas();

public boolean setParametro(String nombre, Object valor)
    throws IllegalArgumentException;

public Object getParametro(String nombre);
}

```

Se define como primera medida los posibles cuadrantes que se pueden solicitar alrededor de un punto.

```

public enum Cuadrante {
    TOTAL, SUPERIOR_DERECHO, SUPERIOR_IZQUIERDO,
    INFERIOR_DERECHO, INFERIOR_IZQUIERDO
}

```

Se maneja una cuadrícula con centro en el punto determinado por la posición de la antena determinado gráficamente como se ve en la Ilustración 4.1.



**Figura 4.1** Área de cobertura dividida en cuatro cuadrantes

Esta forma de ubicación, da la posibilidad de realizar coberturas en cualquiera de los cuadrantes mostrados, simplificando el tiempo de respuesta de las simulaciones. Si en cierta simulación se requiere únicamente un área del mapa como cobertura de interés la ubicación de esta área en cuestión puede ser centrada dentro de uno de los cuadrantes sin necesidad de simular los restantes cuadrantes, aun así se da la posibilidad de escoger el área de cobertura total, ignorando por completo el arreglo de cuadrantes.

Como siguiente método se plantea **dibujar**, que tiene como acción, como su nombre lo dice, dibujar lo que el usuario desea visualizar dentro del mapa. El parámetro de entrada es un Objeto de la clase `Graphics2D`<sup>40</sup>, la cabecera de este método viene enunciada de la siguiente forma:

**public void dibujar(Graphics2D g);**

La forma como el mapa debe ser leído con todas sus características debe estar implementado en el siguiente método, quien tiene parámetros de entrada un flujo de caracteres que contienen la información del mapa (puede ser un archivo, un URL, entre otros). Si existe algún problema con la lectura del mapa se debe lanzar una excepción que alerte al usuario de lo ocurrido. La cabecera del método se enuncia a continuación.

**public void cargarMapa(InputStream in) throws MapaException;**

Se debe implementar un método que devuelva la coordenada UTM<sup>41</sup> asociada a la esquina inferior izquierda del mapa.

**public CoordenadaUTM getOrigen();**

---

<sup>40</sup> <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/api/>

<sup>41</sup> Es un sistema de coordenadas basado en la proyección geográfica transversa de Mercator, que se construye como la [proyección geográfica](#) tipo cilíndrica normal, pero en vez de hacerla tangente al [Ecuador](#), se la hace tangente a un [meridiano](#).

Se deben conocer las dimensiones del mapa expresadas en metros a través de un método que tenga como cabecera la siguiente asignación

**public Dimension getTamaño();**

Para determinar a cuantos metros equivale un píxel, tal como será dibujado por el método dibujar (Graphics2D), se implementa el siguiente método

**public float metrosPorPixel();**

Se debe permitir obtener alguno de los cuadrantes de una sección del mapa o toda la sección, ubicando la antena como centro para realizar un subMapa que contenga la cobertura para que pueda ser graficado. Los datos de entrada deben ser la ubicación de la antena en el mapa dada por las coordenadas UTM proporcionada por un objeto **CoordenadaUTM**, esta ubicación será el centro de la sección, el radio de distancia en metros desde la ubicación de la antena hasta el límite de la sección y el identificador del cuadrante que se quiere obtener

**public Mapa getSubMapa(CoordenadaUTM ubicacionAntena, float radio, int cuadrante);**

Por último se debe especificar si el mapa puede ser dividido en secciones

**public boolean soportaSubMapas();**

Para el desarrollo del Modelo Andino UIS, se tuvo en cuenta mapas de extensión ASCII (.asc), este representa los datos como un **Modelo Digital de elevación (MDE)** que forman parte de los Conjuntos de Datos Raster.

Los datos raster corresponden a un formato teselar (raster<sup>42</sup>), en los que se incluyen las ortofotos<sup>43</sup> y los modelos de elevación del terreno. La estructura de estos archivos es de un arreglo matricial de valores de un atributo particular. Para el caso

---

<sup>42</sup> Un Raster es una malla o [matriz](#) regular de celdas de un área determinada.

<sup>43</sup> Una ortofotografía (u *ortofoto*) combina las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano.

de las imágenes, los valores son de la reflectancia del terreno para cada elemento de imagen; o bien, de valores de altura del terreno cuando se trata de los modelos de elevación del terreno que es nuestro caso.

Este tipo de archivo representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y", a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación. Se ha convenido que los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, por tanto el archivo toma en cuenta coordenadas de referencia *UTM* (Proyección Universal Transversa de Mercator).

El archivo debe tener un encabezado de seis líneas donde especifica:

#### Tamaño

```
1    ncols
2    nrows
```

#### Coordenadas de inicio

```
3    xllcorner
4    yllcorner
```

#### Resolución

```
5    cellsize
```

#### Datos considerados nulos

```
6    NODATA_value
```

### 4.1.2 Interfaz Cobertura

Esta interfaz especifica la forma de cobertura que genera el modelo. Está conformada por los siguientes métodos que deben ser implementados.

```
public interface Cobertura {
    public float getPotencia(CoordenadaUTM coordenada);
}
```

```
public float getMaximaPotencia();  
  
public float getMinimaPotencia();  
  
public void exportarCobertura(OutputStream out) throws IOException;  
  
public float getMetrosPorCelda();  
  
public String getExtensionCobertura();  
  
public String getExtensionMapa();  
  
public Mapa getMapa();  
}
```

Donde el primer método se implementa para permitir conocer el valor de la potencia en un punto exacto del mapa, este punto está dado en coordenadas UTM y el valor que es entregado se da en decibeles.

**public float getPotencia(CoordenadaUTM coordenada);**

Este método devuelve el valor máximo de potencia (en decibeles) dentro de la cobertura

**public float getMaximaPotencia();**

Así también se debe implementar un método que devuelva el valor mínimo de potencia (en decibeles) dentro de la cobertura

**public float getMinimaPotencia();**

Los valores de máxima potencia y el valor de potencia en un punto son utilizados por CellGis para establecer rangos de potencia; con estos datos se establece un nivel de intensidad de color proporcional al valor de la potencia en un punto, correspondiéndole el mayor valor de intensidad del color, a la máxima potencia y a la menor intensidad de color, el valor de menor potencia, de tal manera que se asigna un color de despliegue que indica la intensidad de la señal en cada punto de la cobertura. Entre mas claro sea el color de despliegue, significa que hay más potencia.

Se tiene un método que retorna una coordenada UTM que contiene los valores x, y que indican el origen de la cobertura; este punto está asociado con la esquina inferior izquierda de la cobertura sobre el mapa. Esta coordenada es utilizada para conocer la posición en la que se debe dibujar la cobertura en la pantalla

**public CoordenadaUTM getOrigen();**

Se puede conocer las dimensiones de la cobertura, (largo y ancho en metros). Estas medidas son utilizadas generalmente para realizar cálculos y operaciones

**public Dimension getTamaño();**

Se deben conocer las características de la cobertura donde se especifique como la aplicación debe interpretar los datos contenidos en el archivo de la cobertura. La salida debe crear un archivo que contenga la cobertura, definiendo su nombre de la siguiente manera:

*nombreRed\_nombreRedSite\_idSector\_nombreModelo\_(utmX,utmy)\_nombreCuadrante.*

**public void importarCobertura(InputStream in) throws IOException;**

Debe existir un método que determine a cuantos metros equivale una celda para la cobertura. Es necesario para conocer la escala de equivalencia de píxeles y metros de cada implementación de Mapa, para omitir pérdidas por representaciones graficas

**public float getMetrosPorCelda();**

Por ultimo se debe indicar la extensión en el que deben ser guardados los datos de cobertura

**public String getExtensionCobertura();**

### 4.1.3 Interfaz Modelo

Los métodos que deben implementarse como mínimo, determinados por la interfaz modelo son los siguientes:

```
public interface Modelo {  
  
    public Cobertura getCobertura() throws ModeloException;  
  
    public void setMapa(Mapa mapa);  
  
    public Set<String> getTiposMapa();  
  
    public String getClaseCobertura();  
  
    public void setParametrosModelo(ParametrosModelo parametros);  
  
    public void setUbicacionAntena(CoordenadaUTM coordenada);  
}
```

Además de estos métodos es posible implementar cuantos métodos se necesiten para llevar a cabo el código del modelo de propagación, así como se muestra posteriormente después de explicar los métodos básicos de la interfaz.

El método que crea la cobertura asociada a los datos iniciales y al espacio de mapa asignado por el radio de interés, esta comprendido por el método.

**public Cobertura getCobertura();**

La forma como se debe entregar al modelo el terreno sobre el que se efectuará el análisis de cobertura de la señal, esta comprendido en la creación de un método que tome un objeto mapa, quien es una implementación de la interfaz Mapa, que contiene la información que necesita el modelo para realizar el análisis.

**public void setMapa(Mapa mapa);**

Se debe permitir al sistema el conocer que formatos de mapas soportara el modelo. Este método retorna una colección que contiene cadenas especificando las extensiones de los tipos de mapa que maneja.

**public Set<String> getTiposMapa();**

Cada modelo genera una cobertura con el análisis de la señal en cada punto del terreno; debido a la diversidad de mapas digitales y modelos de propagación, las coberturas generadas pueden ser representadas de distintas formas. Por esta razón para cada implementación de un modelo es necesario especificar el tipo de cobertura que generará, para que CellGis pueda manipular y representar sus datos. Este método le especifica al sistema por medio de una cadena, la clase que contiene la implementación de la cobertura que genera el modelo.

**public String getClaseCobertura();**

Los parámetros de entrada se encuentran dentro de un objeto parámetros, estos deben ser proporcionados al modelo de manera simple, por tal motivo debe existir un método que realice esta operación de extracción de valores y variables de entrada al modelo. Entre esas entradas se tiene:

- Altura de la torre
- Altura del transmisor,
- Altura del receptor,
- Pire,
- Frecuencia,
- Azimut,
- Inclinación de la antena
- Ruta del archivo de la antena.

**public void setParametrosModelo(ParametrosModelo parametros);**

Por ultimo, pero no menos importante debe existir la posibilidad de ubicar la antena o la el transmisor, proporcionándolas en coordenadas UTM

**public void setUbicacionAntena(CoordenadaUTM coordenada);**

Para la implementación del Modelo Andino UIS, se crearon métodos que facilitaban el cálculo de los resultados de la cobertura. La forma como se planteo estos métodos ayudó a simplificar los cálculos y a mejorar en velocidad de respuesta la cobertura.

Estos métodos son enunciados a continuación explicando teóricamente cual es su función específica, el código del modelo se muestra dentro del anexo A.

#### 4.1.3.1 MÉTODOS DEL MODELO ANDINO UIS.

Replanteando la manera de ejecución del modelo, y teniendo en cuenta las variables de entrada y salida que la herramienta CellGis proporciona, se realiza una serie de métodos que aportan un entorno propicio para el perfecto acoplamiento del modelo Andino UIS a este ambiente. Para realizar operaciones con números complejos dentro de los siguientes métodos, se desarrolló una clase llamada Complex, encargada de realizar este tipo de operaciones. Esta clase se presenta en el anexo A.

```
public class ModeloAndinoUIS implements Modelo
{
    public ModeloAndinoUIS()

    public Cobertura getCobertura()throws ModeloException

    public void setMapa(Mapa mapa)

    public Set getTiposMapa()
```

```
public String getClaseCobertura()

public void setParametrosModelo(ParametrosModelo parametros)

public void setUbicacionAntena(CoordenadaUTM coordenada)

public static double diag_tx( double r,
                             double h,
                             int dx,
                             int dy,
                             int diagrama,
                             double correc_theta,
                             double correc_azimut)
    throws ModeloException

static double[][] ganancia( String rutaArchivoAntena
    throws ModeloException

public static double two_ray( double lambda,
                             double R,
                             double ht,
                             double hr,
                             double Gt_direc,
                             double Gt_refle)

public static double ter_eutd (double lambda,
                             double R,
                             double ori,
                             double w)

public void orientacion()throws ModeloException{

public void perdidas()throws ModeloException{

public void linea_de_vista()throws ModeloException {
```

```
public void potencia(){  
  
}
```

#### 4.1.3.1.1 Diagrama de la Antena Transmisora.

Este método fue creado con la función de proporcionar al modelo el diagrama de la antena transmisora que contiene datos del patrón de radiación de la antena.

Se tiene en cuenta si se trata de una antena que representa un Dipolo Elemental, un Dipolo Medio, una antena Isotropita, o una antena proporcionada por el usuario.

```
public static double diag_tx(double r,  
                             double h,  
                             int dx,  
                             int dy,  
                             int diagrama,  
                             double correc_theta,  
                             double correc_azimut)  
    throws ModeloException  
{  
    return Gt;  
}
```

#### 4.1.3.1.2 Lectura Archivo Antena (Ganancia).

Cuando el usuario proporciona el archivo antena, debe tener en cuenta que las características del archivo como tal, deben ser las predispuestas por la herramienta, en otras palabras CellGis únicamente reconoce archivos de antenas de formato .txt o .zip, por tal motivo fue necesario la creación de archivos nuevos en los cuales las antenas que hasta el momento se tenían, deberían ser transformadas a archivos .txt para realizar las correspondientes simulaciones. En general, algunas de las antenas que utilizaron y que ahora son parte de CellGis son:

- DB874G90R
- 855DDH90E

- ASPD977

En el capítulo 5, se muestra el patrón de radiación de cada una de ellas.

La forma básica como se estructura el método ganancia, se da de la siguiente manera, teniendo presente que puede existir alguna falla en cuanto a la entrada de la ruta, por tal motivo se debe tener en cuenta la posibilidad de interactuar con el usuario, presentándole un mensaje el cual le informa acerca del problema.

```
public static double[][] ganancia(String rutaArchivoAntena)
    throws ModeloException {

    try{
    }
    catch(FileNotFoundException errorFile){
        throw new ModeloException("El archivo de la
                                   Antena no se encuentra ");
    }
}
```

#### 4.1.3.1.3 Cálculo con línea de vista.

Cuando existe Línea de vista Directa se debe realizar una serie de cálculos, que son tenidos en cuenta en este método, estas formulas fueron enunciadas en el capítulo 3 donde se explico cada una de ellas (ecuación (3.0)).

```
public static double two_ray(    double lambda,
                                double R,
                                double ht,
                                double hr,
                                double Gt_direc,
                                double Gt_refle)
{
    return L_vdir;
}
```

Se diferencia entre la existencia de perfiles a través de la línea directa entre transmisor y receptor.

#### 4.1.3.1.4 Convergencia de Vías.

El nuevo replanteamiento de la Teoría Uniforme de Difracción proporciona el aporte de campo a través de la difracción de las esquinas presentes en una convergencia de vías, es por este motivo que se plantea un método que proporcione el término UTD, donde se realizan todas las aproximaciones correspondientes, con parámetros de entrada de altura, posición, orientación de la vía y frecuencia.

```
public static double ter_eutd (double lambda,
                              double R,
                              double ori,
                              double w)
{
    return eutd;
}
```

#### 4.1.3.1.5 Orientación.

Para el cálculo de las pérdidas es de vital importancia el encontrar la orientación entre el Transmisor y el Receptor, sin importar que tipo de pérdida se tenga el cálculo de este parámetro es primario, por tal motivo se descentraliza esta opción con el afán de simplificar los cálculos.

```
public void orientacion()throws ModeloException{
}
}
```

#### 4.1.3.1.6 Pérdidas.

Las pérdidas son calculadas después de tener información acerca de las características físicas del punto al cual se le quiere hallar la cobertura. En este bloque se definen las pérdidas, ya sean por espacio libre ( $L_0$ ), pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del último edificio ( $L_{msd}$ ), pérdidas ocasionadas por el techo del último edificio y un proceso de dispersión ocurrido a esta altura ( $L_{rts}$ ), y pérdidas por difracción en las convergencias de vías ( $L_{cv}$ ).

```
public void perdidas() throws ModeloException{  
  
}
```

#### 4.1.3.1.7 Potencia.

Por último se calcula la potencia en el punto, teniendo en cuenta el Pire de la antena, la ganancia del receptor, la ganancia de la antena Transmisora y las pérdidas presentes en el punto en respectivo.

```
public void potencia(){  
  
}
```

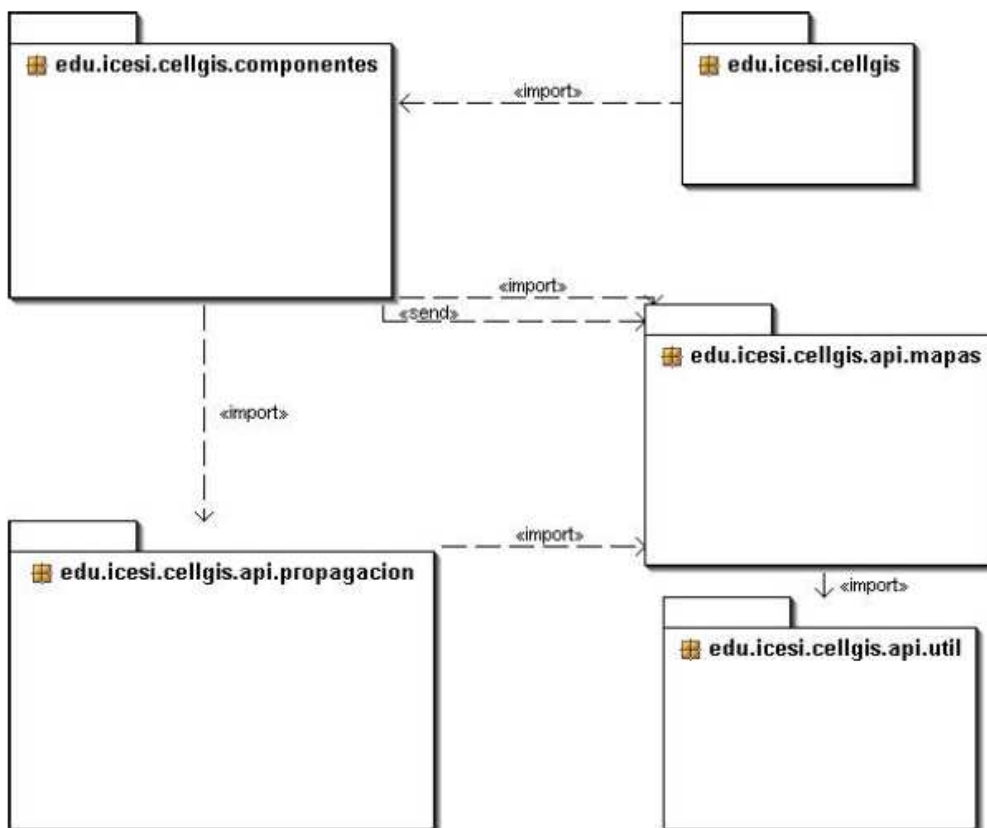
## 4.2 Clases CellGis.

La implementación de un nuevo plugin dentro de la herramienta CellGis, conlleva a conocer su estructura. Es por esto que se presentan los diagramas de clase, para conocer en que punto se encuentra la entrada de un nuevo código al CellGis y mejorar el entendimiento acerca del desarrollo de nuevas aplicaciones al mismo.

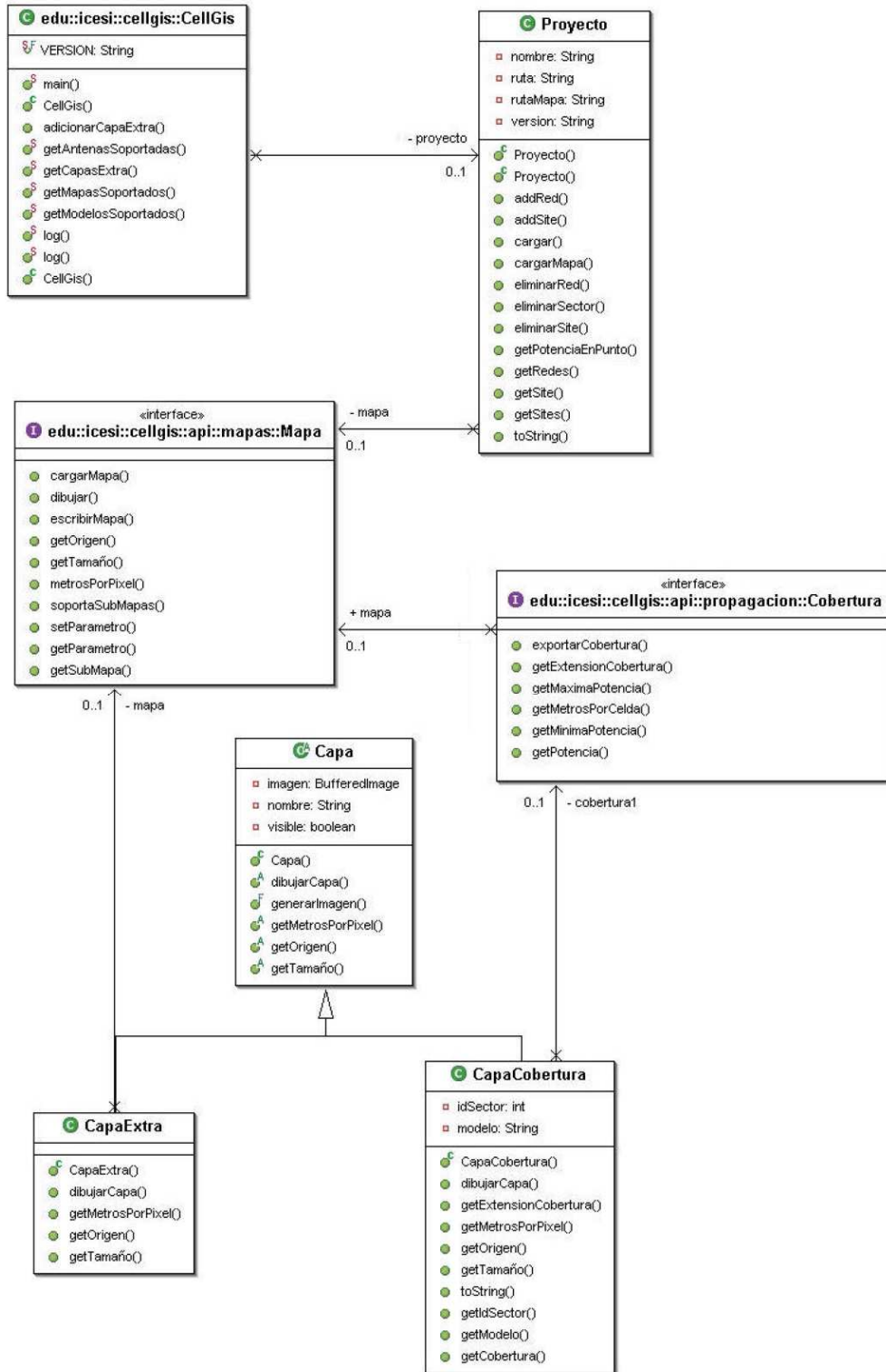
Se muestran los diagramas de clases en UML (Lenguaje Unificado de Modelado), el cual es un tipo de diagrama estático que describe la estructura de un sistema, mostrando sus clases, atributos y las relaciones entre ellos. Esto es un diseño conceptual de la información que se maneja en el sistema, los componentes que se encargan del funcionamiento y la relación entre uno y otro.

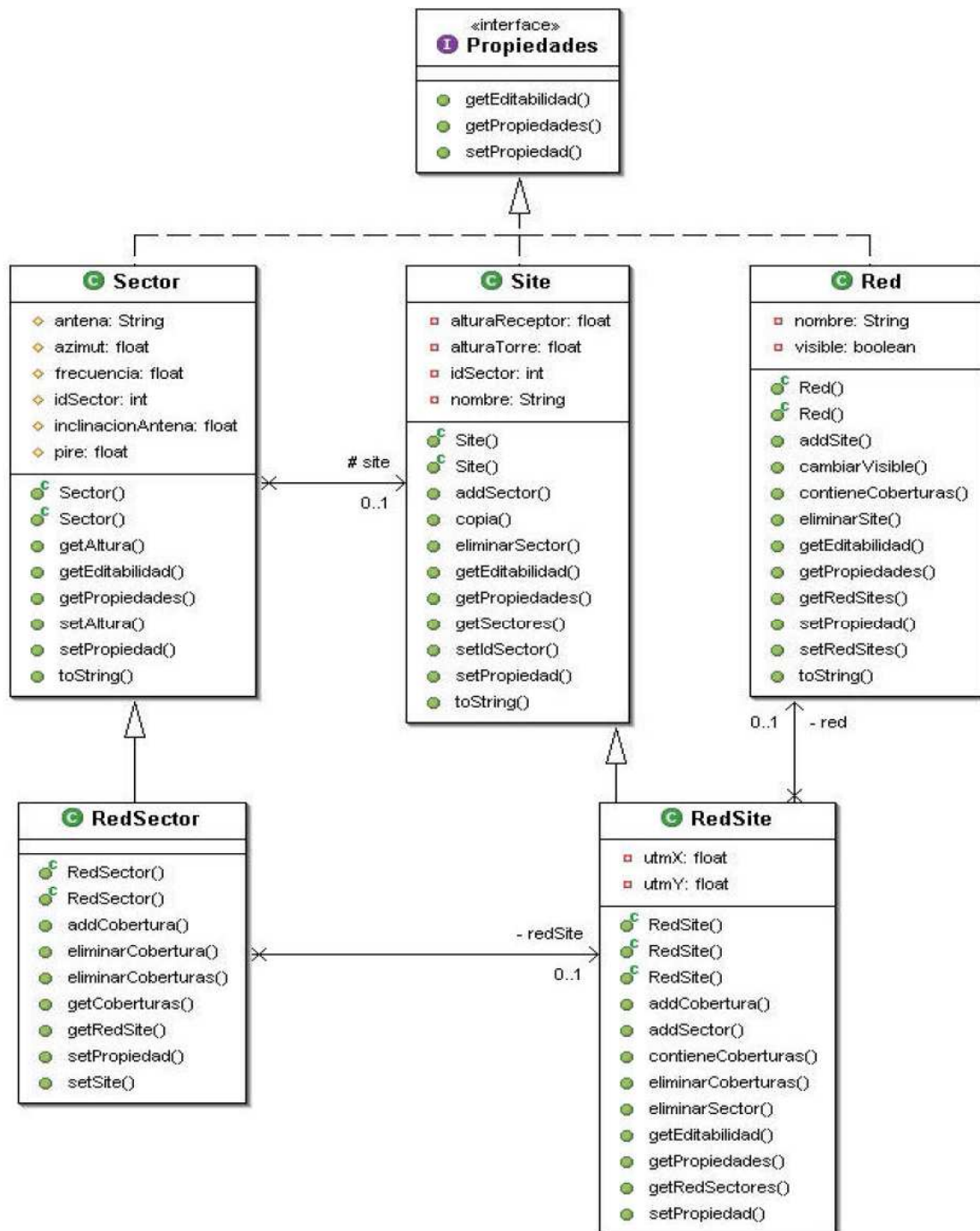
## 4.2.1 Diagramas de Clases.

### 4.2.1.1 Paquetes.

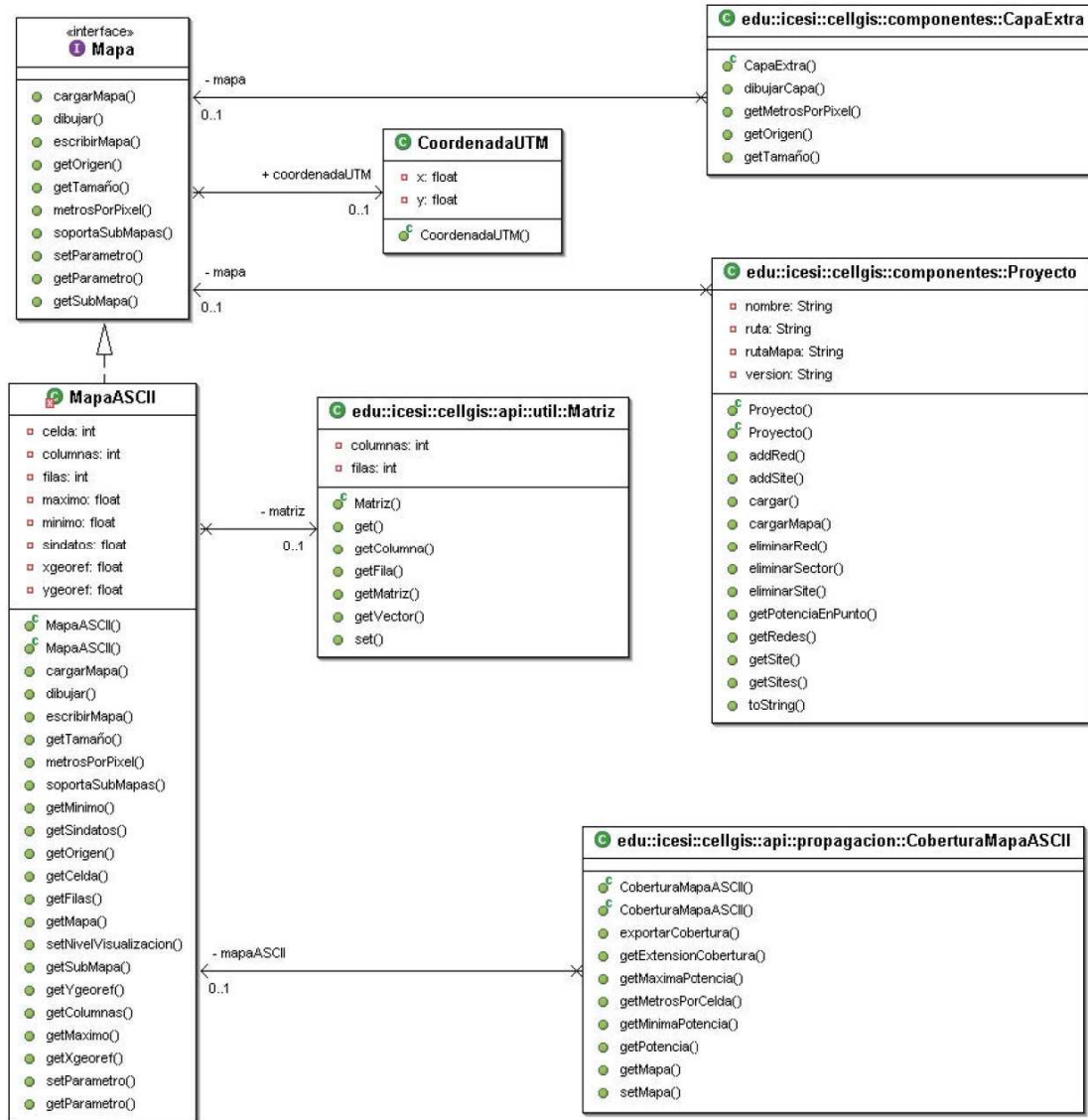


### 4.2.1.2 Componentes.

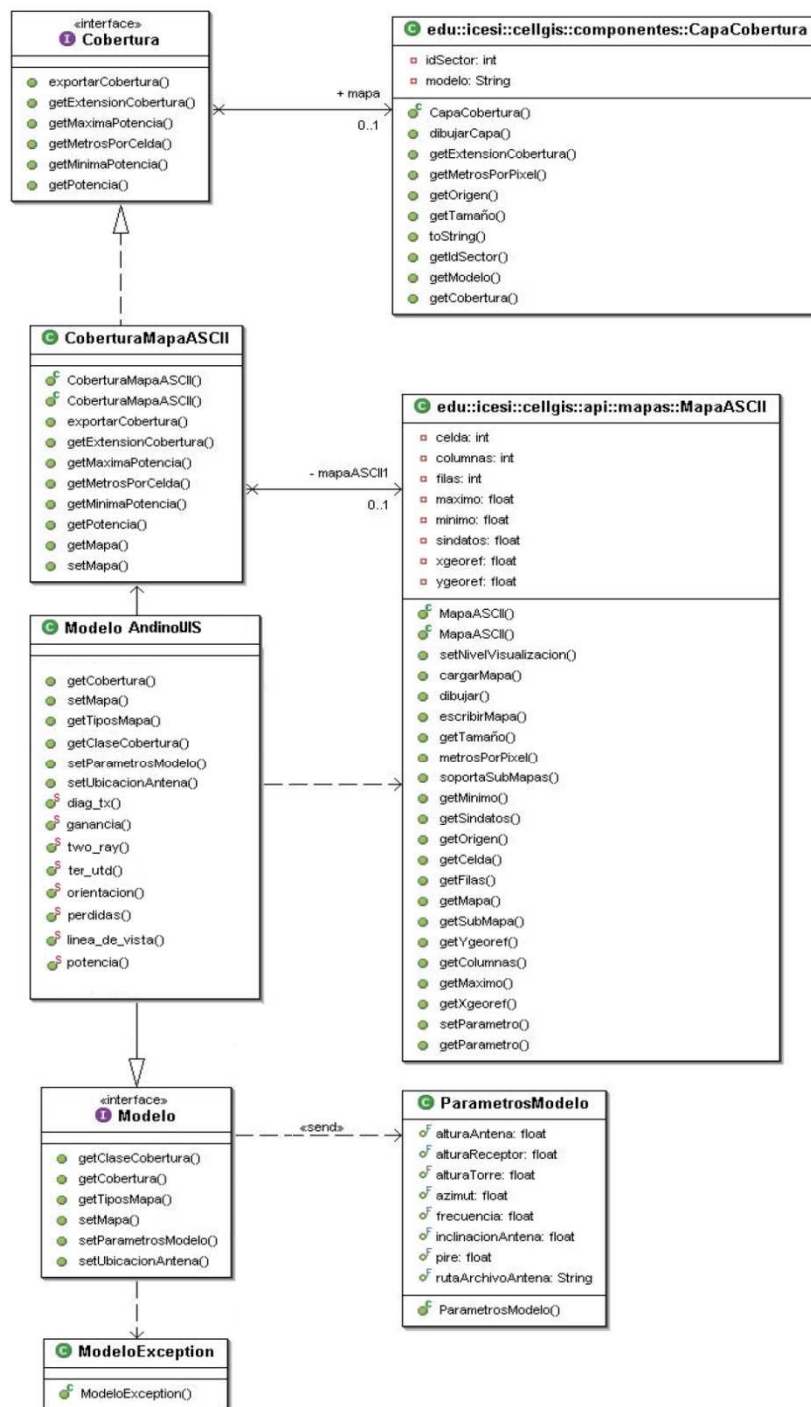




### 4.2.1.3 API Mapas.



### 4.2.1.4 API Modelos de Propagación.



La estructura modular de CellGis permite adicionar nuevas aplicaciones a la herramienta, pensando en un sin número de posibles usos en un entorno basado en Sistemas de Información Geográfica, donde se resaltan características como localización en cuanto a propiedades de un lugar específico, condiciones de cumplimiento de estándares impuestos al sistema (niveles de radiación permitidos para la salud humana), cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos, detección de pautas espaciales, generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Java proporcionó en el desarrollo del algoritmo portabilidad, dando un vistazo a los alcances de la herramienta al convertirse en una aplicación desde la Web mediante un proceso cliente / servidor, donde los parámetros sean el mapa, la potencia de la antena y los resultados los obtenidos en este proyecto: mapas con medidas de potencia.

## **CAPÍTULO 5.**

### **PARÁMETROS DE SIMULACIÓN, CAMPAÑAS DE MEDIDAS, VALIDACIÓN DEL ALGORITMO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Con el modelo AndinoUIS® implementado en el lenguaje java e integrado dentro de la herramienta de planificación CellGis, se procede a profundizar en las simulaciones de coberturas para analizar y validar su funcionamiento, comparándolas con los resultados obtenidos dentro de la herramienta CellView. Estas simulaciones se desarrollan sobre el mapa digital de la ciudad de Bucaramanga, con diferentes tipos de antenas, trabajando en las bandas de los 800MHz y los 1900MHz, buscando así, analizar el desempeño del modelo y la herramienta sobre una ciudad con las características topográficas de interés para la Alianza RadioGIS, identificando los alcances que se pueden lograr a partir del CellGis, para brindar dentro de la sociedad y las NGN, un servicio completo dentro de las necesidades que se generan en la convergencia de las telecomunicaciones.

Posteriormente se realizan simulaciones en los sectores de los barrios Provenza, San Luis y Bucaramanga, para realizar un análisis comparativo de resultados (estadístico y gráfico), entre las medidas halladas por el modelo dentro de la herramienta Cellgis, la herramienta Cellview y las campañas de mediciones de intensidad de campo en las respectivas zonas seleccionadas de la ciudad de Bucaramanga, a partir del cual se dictamina el desempeño del modelo de propagación Andino UIS® con la herramienta Cellgis en entornos andinos con características topográficas irregulares, trabajando en la banda de los 800MHz, correspondientes a sistemas de telefonía móvil celular TDMA y CDMA instalados en Colombia.

A lo largo de este capítulo, se describen todos los parámetros involucrados que se tienen en cuenta para realizar las campañas de medidas, la simulación de

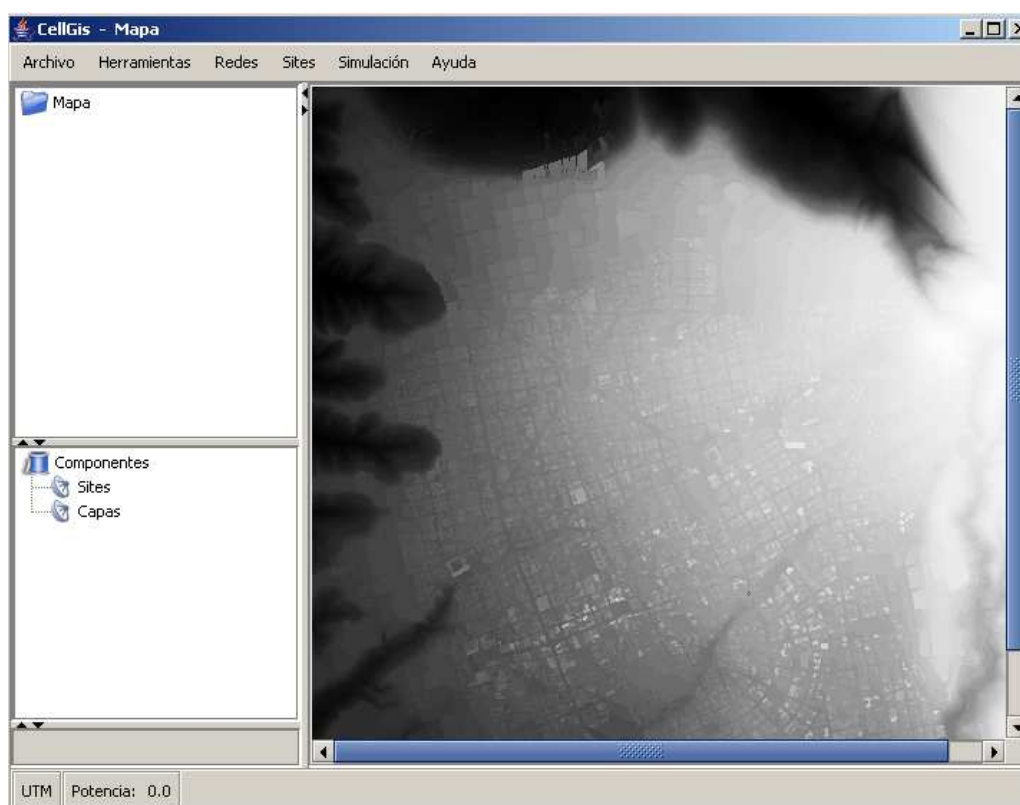
coberturas y el procedimiento efectuado para validar el desempeño del Cellgis y el modelo Andino UIS, integrado dentro de esta herramienta.

Para el desarrollo de las simulaciones se siguieron ciertos parámetros de entrada y consideraciones que permitieron al final del proceso obtener resultados fácilmente evaluables. En primer lugar, los resultados se realizaron sobre un mapa digital de la ciudad de Bucaramanga, con el fin de obtener todas las características propias de un entorno tipo andino, siguiendo un modelo de *colina-valle-colina* en la mayoría de las direcciones. El segundo parámetro tenido en cuenta fue el transmisor (Estación Base - BS), el cual cuenta con las características principales que definen a la BS que cubre el servicio de telefonía móvil celular (estándar IS-136) en la zona de estudio, considerando el patrón de radiación de las antenas utilizadas en dicha BS, siendo este uno de los principales parámetros de entrada que considera el modelo de propagación Andino UIS. Para este análisis se usaron tres tipos de antenas, la antena tipo omni de referencia ASPD977, bajo tecnología TDMA, la antena de sectorización direccional de grado 3 (separación entre cada antena de 120°), de referencia 855DDH90E, bajo la tecnología TDMA (estándar IS-136) y la antena bajo la tecnología CDMA de referencia D8874G90R, igualmente, con sectorización direccional de grado 3.

El mapa digital de la ciudad de Bucaramanga utilizado para realizar las simulaciones, se caracteriza por tener en cada celda un valor único: la altura del terreno sumada con la altura de edificios.

Este mapa digital de la ciudad de Bucaramanga, es un archivo tipo ASCII soportado por la herramienta Cellgis (mencionado anteriormente en el capítulo 4), el cual fue posible obtenerlo al realizar una conversión de los mapas utilizados dentro de la herramienta Cellview (mapas con formato tipo ESRI) a formato raster y posteriormente a formato ASCII. Esta conversión se desarrolló con la herramienta

ArcGIS (herramienta para manejo de GIS), a través de la opción Spatial Analyst<sup>44</sup>, realizando un proceso de rasterización de la información. Después de tener el mapa respectivo en un archivo tipo raster se exporta al formato tipo ASCII. En la figura 5.1 se muestra el mapa de la ciudad de Bucaramanga utilizado sobre la herramienta Cellgis.



**Figura 5.1** Mapa de la ciudad de Bucaramanga sobre Cellgis.

Los parámetros del Transmisor con la implementación de la respectiva antena con su patrón de radiación, son presentados a continuación:

---

<sup>44</sup> ArcView Spatial Analyst: Advanced Spatial Analysis Using Raster and Vector Data: *Environmental Systems Research Institute, Inc.*, U.S, 1996.

<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
<b>Sistema TDMA</b>	
PIRE del transmisor	42.48dBm
Ganancia del receptor	0dB
Ganancia antena ASPD977	8.5dBd
Portadora	800.11MHz
Altura del Transmisor	40m
Altura del Receptor	1.7m
Downtilt de la antena	0°
Azimut de las antenas	90°
Factor de curvatura K	1.33
Tamaño de celdas del grid para simulación	4m

**Tabla 5.1 Parámetros del transmisor con las antenas ASPD977**

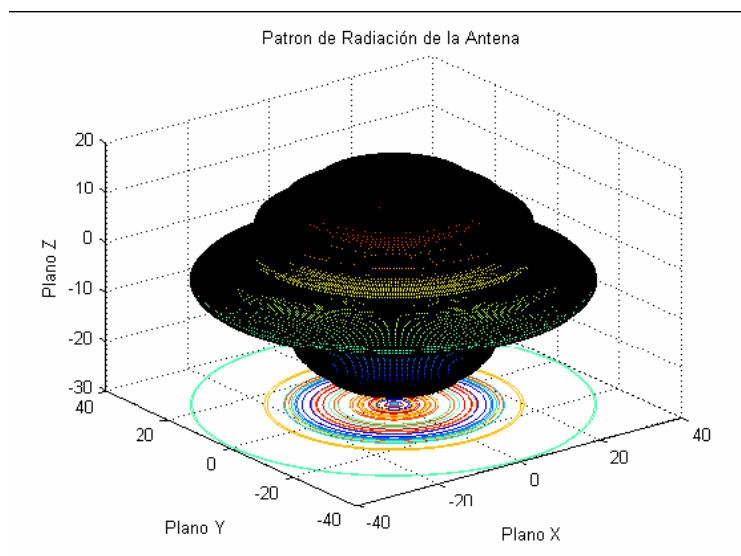
<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
<b>Sistema CDMA</b>	
PIRE del transmisor	40dBm
Ganancia del receptor	0dB
Ganancia antena DB874G90R	12.5dBi
Portadora	881.525MHz
Altura del Transmisor	38m
Altura del Receptor	2.5m
Downtilt de la antena	0°
Azimut de las antenas	100, 220, 340°
Factor de curvatura K	1.33
Tamaño de celdas del grid para simulación	4m

**Tabla 5.2 Parámetros del transmisor con las antenas D8874G90R**

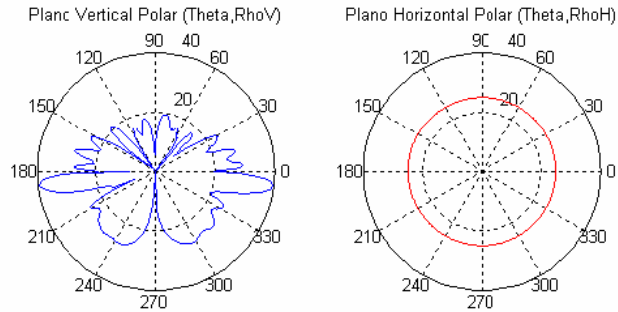
<b>PARAMETROS</b>	<b>VALOR</b>
<b>Sistema TDMA/IS-136</b>	
PIRE del transmisor	42.48dBm
Ganancia del receptor	0dB
Ganancia antena 855DDH90E	12.1dBi
Frecuencia CCA	880.11MHz
Altura del Transmisor	40m
Altura del Receptor	1.7m
Downtilt de la antena	3°
Azimut de las antenas	40, 160 y 280°
Factor de curvatura K	1.33
Tamaño de celdas del grid para simulación	4m

**Tabla 5.3** Parámetros del transmisor con las antenas 855DDH90E.

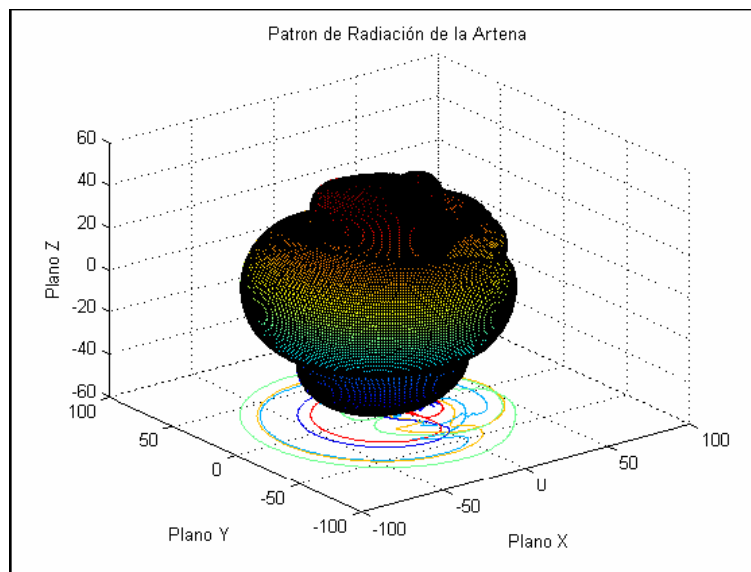
Patrones de Radiación de las antenas:



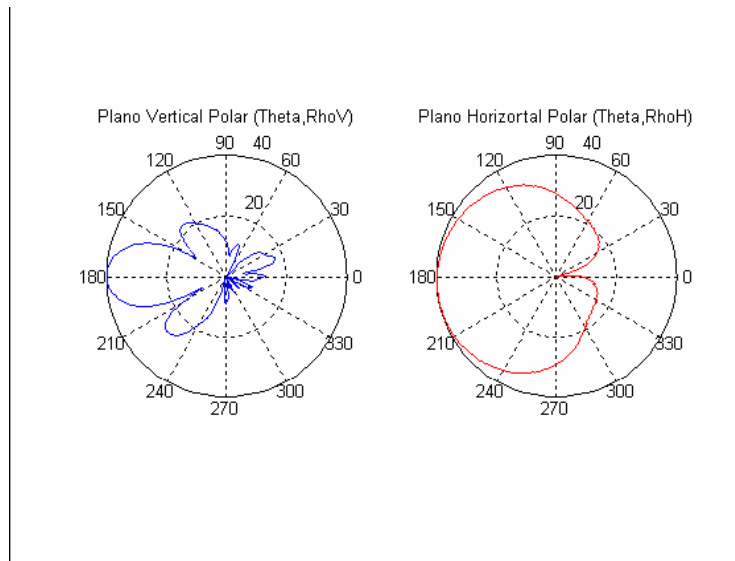
**Figura 5.2** Patrón de Radiación Antena ASPD977



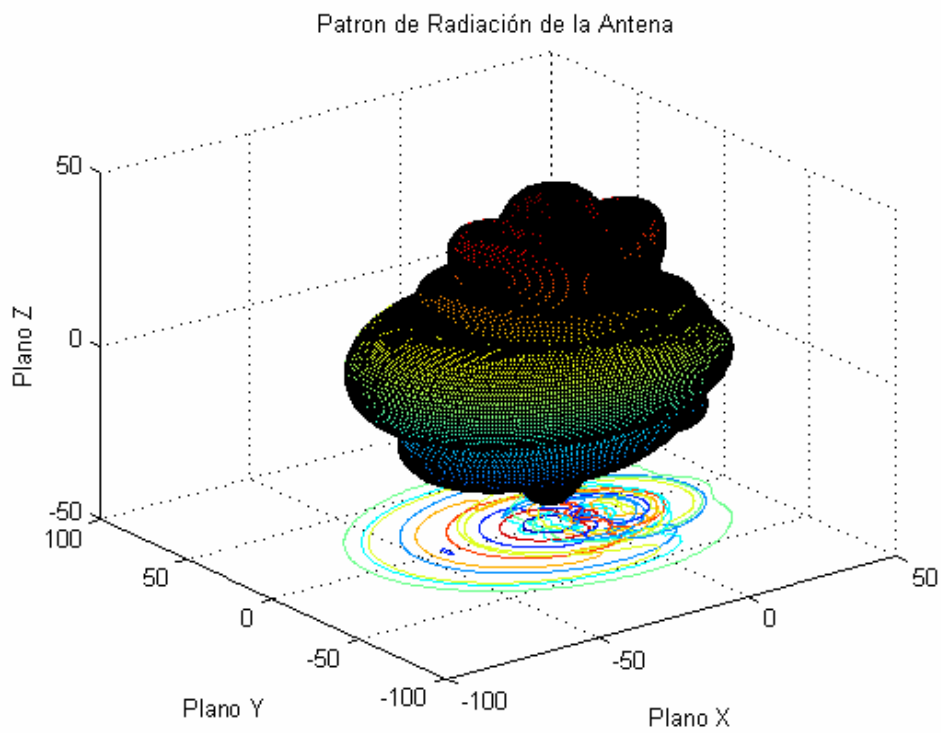
**Figura 5.3** Patrón de radiación H-V de la antena ASPD 977 (Plano vertical y Plano horizontal)



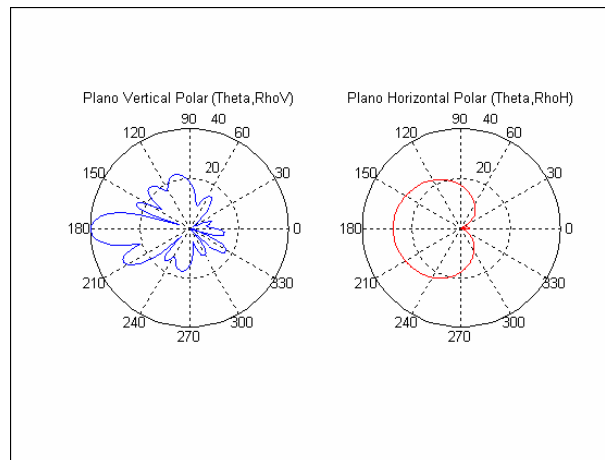
**Figura 5.4** Patrón de Radiación de la antena 855DDH90E



**Figura 5.5** Patrón de radiación H-V de la antena 855DDH90E (Plano vertical y Plano horizontal)



**Figura 5.6** Patrón de radiación de la antena D8874G90R



**Figura 5.7** Patrón de radiación H-V de la antena D8874G90R (Plano vertical y Plano horizontal)

Los valores de intensidad de campo con los que se validó el modelo Andino UIS sobre Cellgis, fueron tomados de campañas de mediciones obtenidas de investigaciones anteriores<sup>45</sup>. Los datos muestrales utilizados, fueron obtenidos en sectores pertenecientes a la celda de la radio base ubicada en la Calle 105 con Carrera 21 del barrio Provenza de Bucaramanga. Las características de dicha base estación fueron mencionadas previamente.

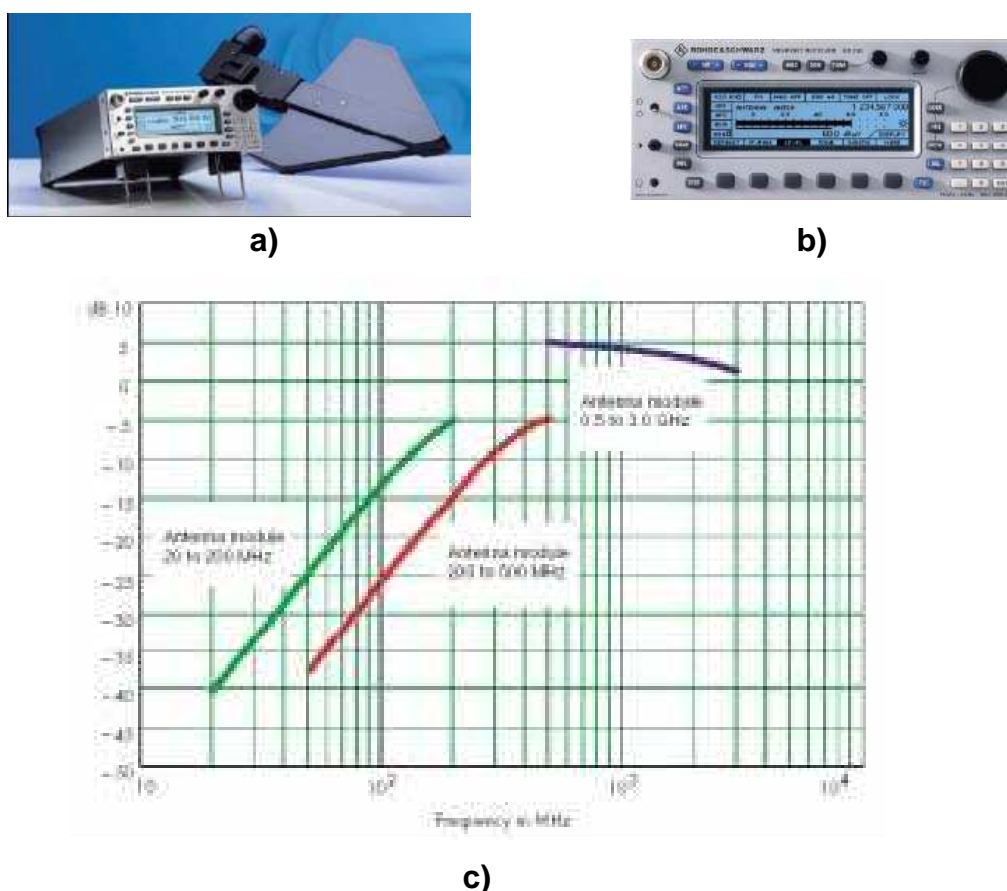
Para realizar estas campañas de medida fue necesario tener en cuenta tres elementos: La estación base (el transmisor), el analizador de RF (el receptor) y el software de adquisición de datos (la interfaz).

El investigador encargado de realizar las campañas de medidas en el año 2002 utilizó como receptor un equipo de medición (Analizador de Radio Frecuencias) llamado *Miniport Receiver EB200* de la compañía Rohde&Schwarz<sup>46</sup>, facilitado por el

<sup>45</sup> García Ariza Alexis P, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

<sup>46</sup> Rohde&Schwarz. Miniport receiver EB200 - portable monitoring from 10kHz to 3GHz [online]. [Munich, Germany] : Rohde&Schwarz, 2002. Available from Internet: <URL:<http://www.rohde-schwarz.com>>.

Ministerio de Comunicaciones de Colombia Seccional Bucaramanga, y para el cual se tomó como valor de ganancia de recepción  $0dB$ , debido a la compensación de ganancias y pérdidas de la antena, conectores, amplificadores, entre otros, del mismo equipo, y se desplazó siguiendo unas rutas establecidas para el análisis como se muestra posteriormente en las figuras 5.14, 5.15 y 5.16. En la figura 5.8 se aprecia el aspecto externo del equipo, antena para un rango de 0.5-3GHz, panel frontal de control y las curvas de ganancia de las antenas.



**Figura 5.8** Equipo de monitoreo Miniport Receiver EB200. a) Cuerpo del equipo y antena de operación para el rango de 0.5-3GHz. b) Panel frontal de control y c) curvas de ganancia.

El software de adquisición corresponde a un software creado por el grupo de investigación Maxwell de la Universidad de Investigación y Desarrollo (UDI)<sup>47</sup>. Permite realizar el control de los datos adquiridos por el Miniport Receiver EB200. Éste software permite generar y almacenar un archivo de datos con la información de las mediciones por punto, esto facilita la toma de datos logrando así que el procedimiento de mediciones de campo sea más rápido y automático. Actualmente es utilizado por el Ministerio de Comunicaciones en la realización del monitoreo de espectro.

### **5.1 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DEL MODELO ANDINO UIS CELLGIS CON ANDINO UIS CELLVIEW.**

Se desarrollaron simulaciones de coberturas en la herramienta Cellgis sobre varios sectores de la ciudad de Bucaramanga, comprobando el correcto funcionamiento del modelo. Posteriormente se compararon los resultados con las medidas de intensidad de campo halladas con el modelo sobre la herramienta Cellview. A través de este procedimiento se validaron los resultados.

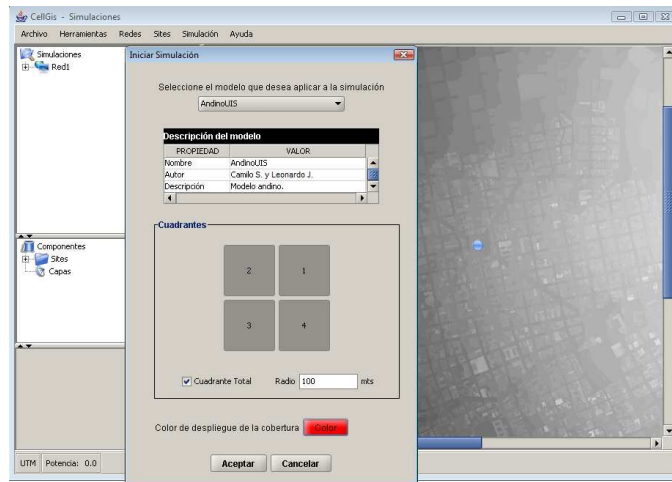
Los resultados de una simulación en un sector de la ciudad de Bucaramanga, es presentado en el anexo B (Tabla B.1.1). Los respectivos parámetros del transmisor y receptor fueron presentados anteriormente en este capítulo.

A continuación se presenta el análisis comparativo (gráfico y estadístico), de los resultados de la cobertura generada en la respectiva simulación, con los parámetros del transmisor mostrados en la tabla 5.2 de la antena D8874G90R. En las figuras 5.9 y 5.10 se observa el debido proceso para generar las coberturas en cada una de las herramientas de planificación especificadas. En la figura 5.11 se observa la comparación gráfica de los resultados.

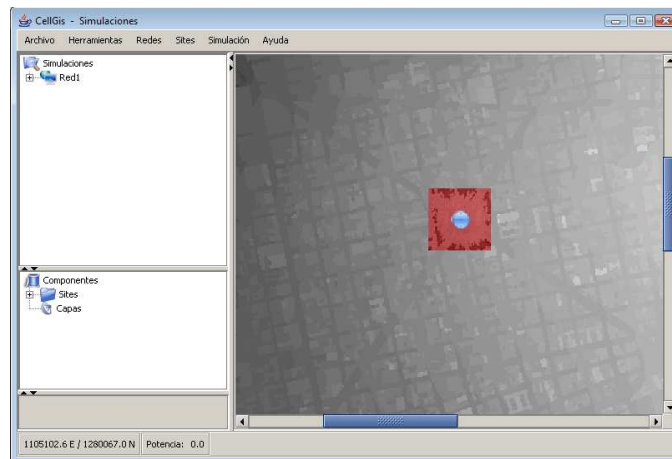
---

<sup>47</sup> Ing. José Rugeles, Ing. Antonio Jaimes, Mildred Rodríguez y Diana Serrano Grupo de Investigación Maxwell. Universidad de Investigación y Desarrollo. Bucaramanga 2004.

- Generación de la cobertura en la herramienta Cellgis.



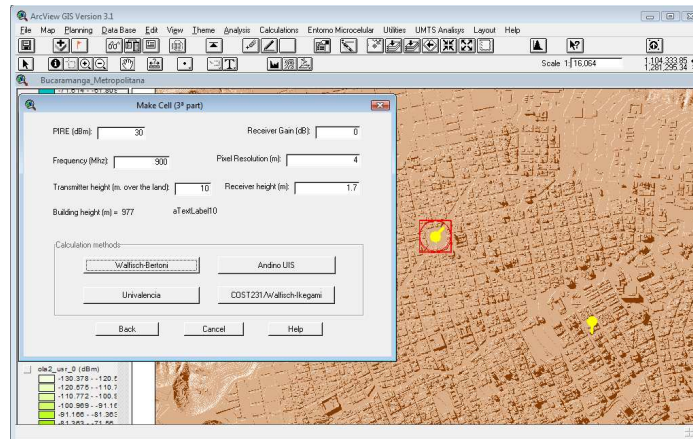
a)



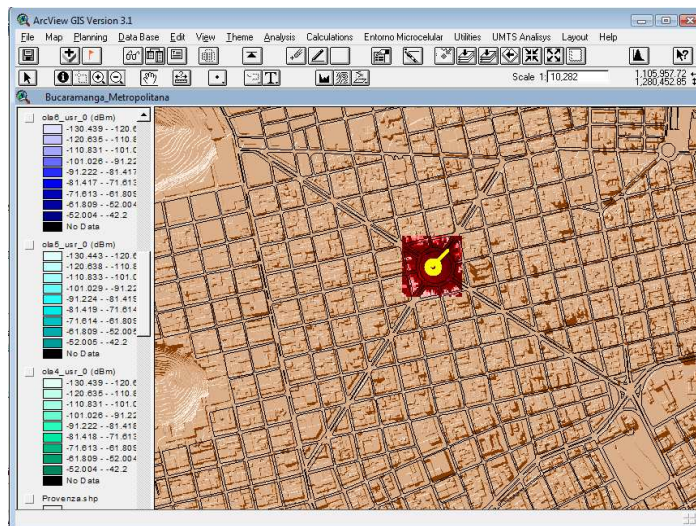
b)

**Figura 5.9 a) y b)** Generación de la cobertura por medio del modelo AndinoUIS en la herramienta Cellgis.

- Generación de la cobertura en la herramienta Cellview.



a)



b)

Figura 5.10 a) y b) Generación de la cobertura por medio del modelo AndinoUIS en la herramienta Cellview.

- **ANÁLISIS COMPARATIVO GRÁFICO.**

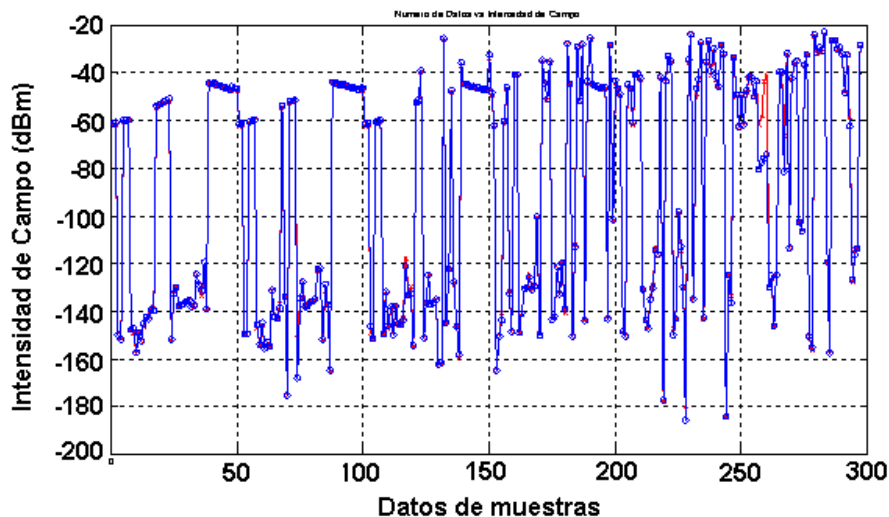


Figura 5.11 Análisis comparativo gráfico.

- **ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO.**

	AndinoUIS Cellview	AndinoUIS Cellgis	Diferencia	Error (%)
<b>Mediana</b>	-62,579865	-61,925686	-0,654179	1.045
<b>Varianza</b>	2389,139997	2378,76889	10,3711058	0.434
<b>Promedio</b>	-90,250595	-89,928177	-0,32241796	0.357
<b>Desviación Estándar</b>	60.34518524	60.71322188	0.368036641	0.609

Tabla 5.4 Análisis comparativo estadístico.

	<b>Coefficiente de Correlación</b>	<b>Diferencia máxima en medidas</b>	<b>Diferencia mínima en medidas</b>
<b>AndinoUIS Cellview vs AndinoUIS Cellgis</b>	0.994676574	19.318274	3E-06

Tabla 5.5 Desempeño Modelo AndinoUIS en Cellgis.

Con los resultados mostrados en la figura 5.11, se pueden observar las diferencias mínimas entre los resultados obtenidos a partir de la herramienta Cellview y los resultados a partir de la herramienta Cellgis. En la tabla 5.4 y tabla 5.5, se verifica el correcto funcionamiento del Andino UIS sobre Cellgis. En la tabla 5.4 el error en cada una de las medidas mostradas está alrededor del 0.5% en promedio, lo que es un error muy aceptable. El valor del coeficiente de correlación indica que se tiene una correlación positiva casi perfecta entre los dos resultados, referenciando como correlación positiva perfecta cuando este valor es igual a 1. Igualmente un factor de gran importancia en los resultados obtenidos con la herramienta CellGis, es que el costo computacional para simular una cobertura de potencia con un radio específico se mejoro considerablemente a partir de la estructura utilizada para programar el AndinoUIS en java. Esta comparación es mostrada en la tabla 5.6.

<b>Radio de Cobertura en metros</b>	<b>Tiempo Computacional en segundos AndinoUIS CellView</b>	<b>Tiempo Computacional en segundos AndinoUIS CellGis</b>
100	3	1
300	7	3
500	11	7
1000	25	17

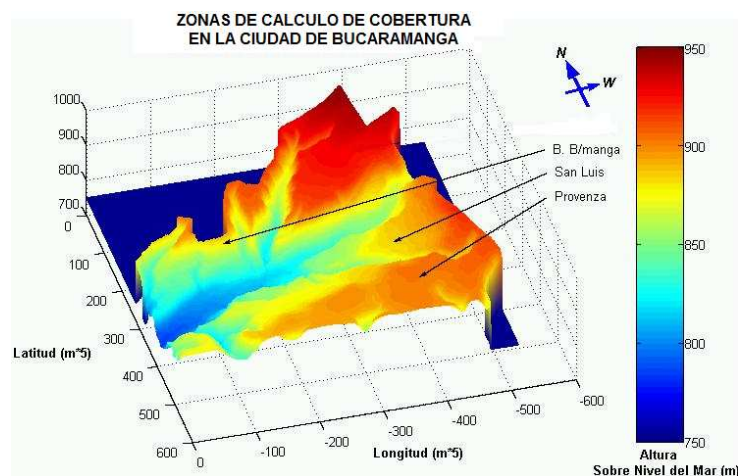
**Tabla 5.6** Costo Computacional.

## **5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ANDINO UIS Y CAMPAÑAS DE MEDIDAS.**

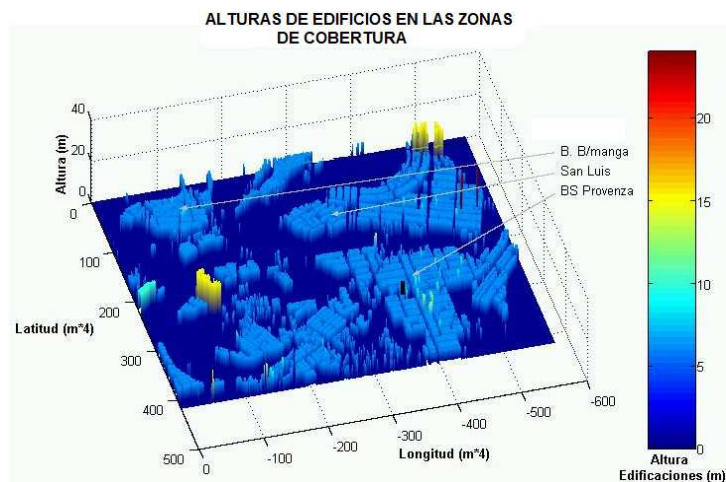
Los barrios para realizar las campañas de medida de intensidad de campo en la ciudad de Bucaramanga fueron seleccionados, ya que cumplen con las siguientes

características: el sector que cubre los barrios *Bucaramanga*, *Provenza*, *San Luis* y *Diamante II*, llenaba todos los requisitos a nivel cartográfico, de simulación y mediciones de campo. El barrio Bucaramanga se encuentra en la falda de una montaña posterior a la de la ubicación del transmisor, el barrio Provenza sobre la colina en la que se encuentra la BS, y el barrio San Luis y Diamante II dentro del cañón entre las colinas del barrio Provenza y La Victoria, garantizándose de esta manera los diferentes casos de simulación colina-valle-colina y verificación por medio de las campañas de medidas.

En las figuras 5.12 y 5.13 se muestran las alturas del terreno y las alturas de los edificios de la zona de análisis.



**Figura 5.12** Constitución geográfica del terreno de análisis.



**Figura 5.13** Altura de Edificios de la zona de análisis.

A continuación se describen los sectores en donde se llevaron a cabo las mediciones y las rutas de medición utilizadas tanto para el sistema TDMA<sup>48</sup> como para el sistema CDMA<sup>49</sup>. Para las simulaciones del sistema TDMA, se implementaron los parámetros de entrada mostrados en la Tabla 5.3 y para las del sistema CDMA los parámetros mostrados en la Tabla 5.2. En el Anexo B, en la sección B.2 (desde la Tabla B.2.1 hasta la Tabla B.2.8) se encuentran los resultados de estas simulaciones, comparado con las campañas de medida realizadas<sup>50</sup>.

### 5.2.1 CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO BUCARAMANGA.

Para el barrio Bucaramanga, las mediciones se realizaron en tres rutas para la tecnología TDMA y una ruta para la tecnología CDMA. Estas rutas fueron seleccionadas ya que cumplen con características propias de terreno escarpado, en

<sup>48</sup> García Ariza Alexis Paolo, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

<sup>49</sup> Cristian García López, José Luis Meléndez *Radiopropagación en las comunicaciones móviles con tecnología CDMA en presencia de terreno escarpado*. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2004.

<sup>50</sup> Todos los resultados estadísticos corresponden a las diferencias entre los valores simulados y las mediciones (i.e. valores promedio) a excepción del error típico.

el caso TDMA una en la cima de la colina, otra en una pendiente de la falda y la última en la parte más baja del barrio donde termina la pendiente, y en CDMA se utilizó una ruta caracterizada por su leve inclinación y la presencia de una pequeña montaña en gran parte de su trayecto.

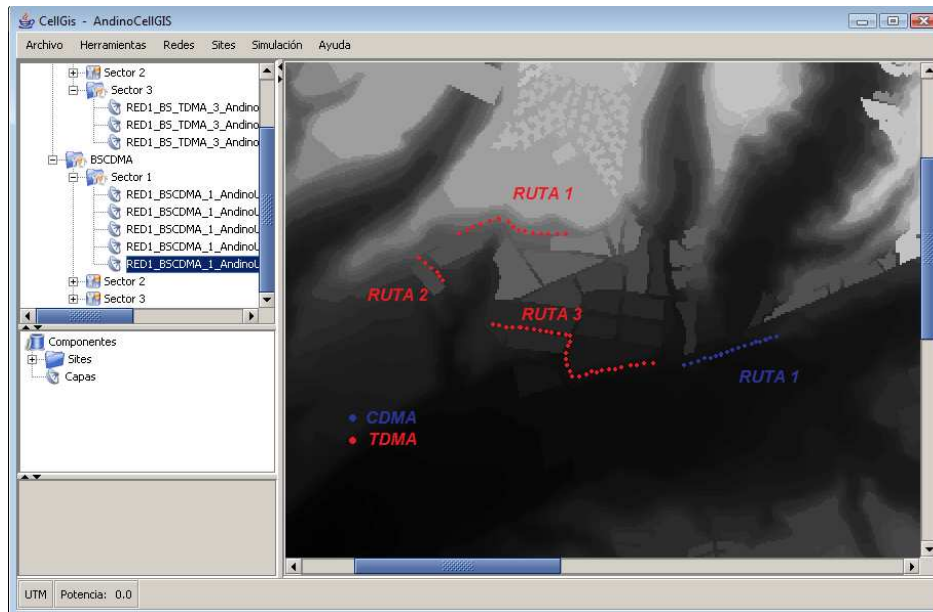


Figura 5.14 Mediciones barrio Bucaramanga

### 5.2.2 CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO PROVENZA.

Para el barrio Provenza, las mediciones se realizaron sobre 3 rutas para la tecnología TDMA, caracterizadas por estar cercanas a la BS y sobre una zona relativamente plana. Para la tecnología CDMA se eligió una ruta cercana a la BS y con condiciones topográficas uniformes y la otra ruta con trayecto cóncavo en su superficie sin Línea de Vista (NLOS). En este barrio se realizaron medidas en convergencias de vías, con el fin de observar el funcionamiento del modelo en este tipo de circunstancias.

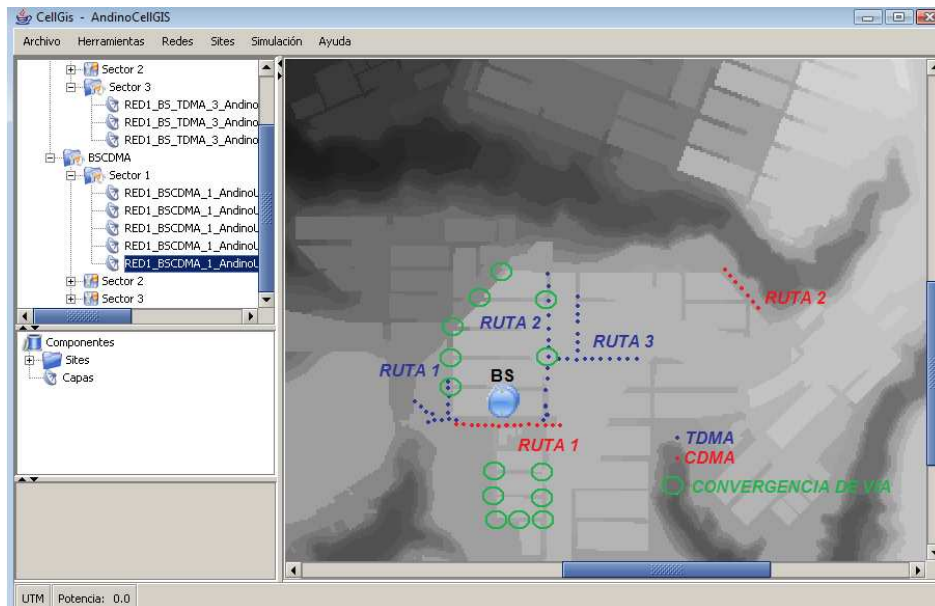


Figura 5.15 Mediciones barrio Provenza.

### 5.2.3 CAMPAÑA DE MEDIDA BARRIO SAN LUIS Y DIAMANTE II.

En el barrio San Luis y Diamante II, se realizaron dos rutas para la tecnología CDMA destacada por su pronunciada pendiente y otra sobre terreno plano, al igual que la ruta seleccionada para TDMA. En este barrio se tomaron medidas en convergencia de vías, como se muestra en la figura 5.16.

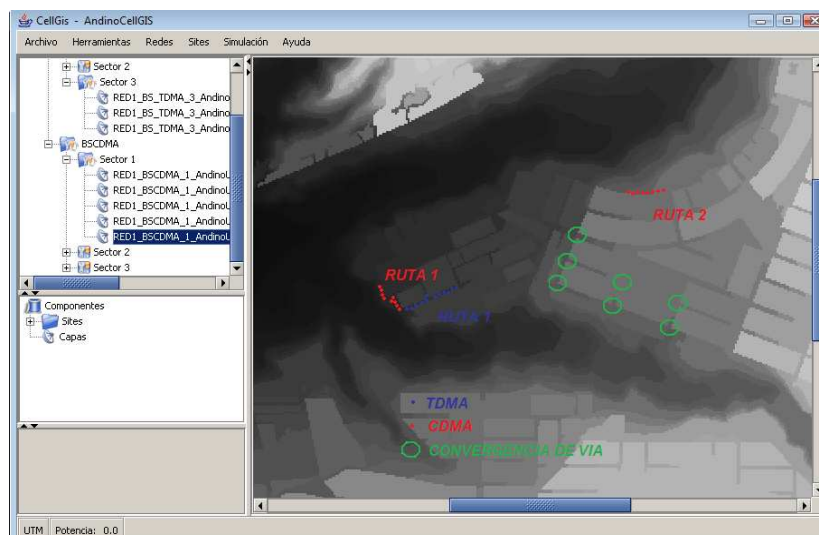
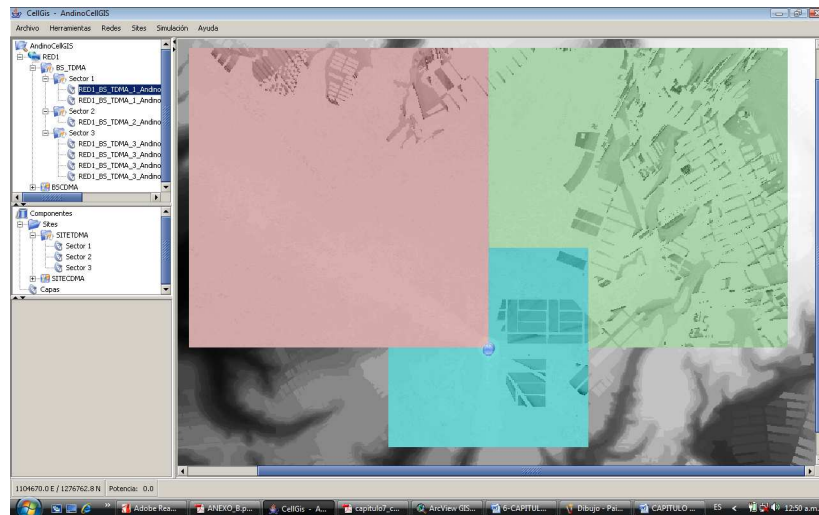
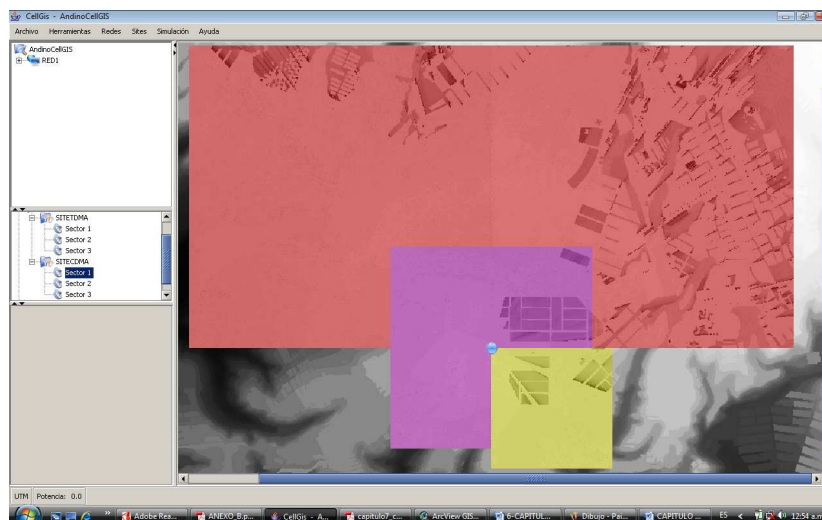


Figura 5.16 Mediciones barrio San Luis y Diamante II.

En las figuras 5.17 y 5.18 se visualizan los resultados obtenidos de las simulaciones con la herramienta Cellgis para los sistemas TDMA y CDMA respectivamente. Cada color representa un sector de cobertura dado por la antena sectorizada.



**Figura 5.17** Simulación cobertura tecnología TDMA.



**Figura 5.18** Simulación cobertura tecnología CDMA.

En total fueron utilizados un promedio de 300 puntos de medición que incluyen medidas para el sistema TDMA, CDMA y convergencias de vías. Éste número de mediciones es suficiente para validar el modelo propuesto, si se considera el total de

mediciones registradas en el desarrollo de otros modelos<sup>51</sup>. El análisis comparativo (gráfico y estadístico), de estos resultados se muestra a continuación.

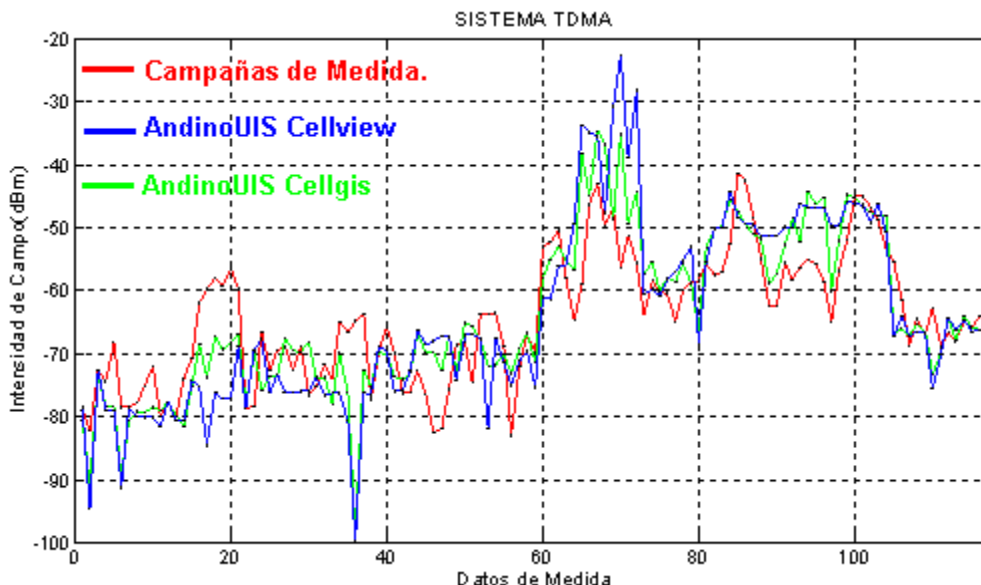


Figura 5.19 Comparación de resultados de todas las rutas para el Sistema TDMA.

	Campañas de Medida	AndinoUIS Cellview	AndinoUIS Cellgis	Diferencia Campaña de Medidas vs Cellview	Diferencia Campaña de Medidas vs Cellgis
<b>Mediana</b>	-64.74785	-67.21305	-66.96983	2.4652	2.221987
<b>Varianza</b>	101.95430	214.18785	159.99316	112.23382	58.03913
<b>Promedio</b>	-64.22731	-64.35694	-64.0572	0.12954	0.17011
<b>Desviación Estándar</b>	10.09722	14.63515	12.64884	4.53792	2.55161

Tabla 5.7 Análisis estadístico Sistema TDMA.

	Coefficiente de Correlación	Diferencia máxima en medidas	Diferencia mínima en medidas
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellview</b>	0.739819924	35.02727	0.022472
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellgis</b>	0.811574008	33.79115	0.046276

Tabla 5.8 Desempeño Sistema TDMA.

<sup>51</sup> Smulders, M. Jevrosimovic, M. Revén, S. Savov and E. Martijn of (TU/e). *State of the art channel models*.

En la figura 5.19, se puede mostrar, validar y analizar el correcto funcionamiento del modelo de propagación Andino UIS sobre la herramienta Cellgis, observando la mínima diferencia que se presenta para un sistema TDMA en la mayoría de los datos. En el análisis estadístico mostrado en la tabla 5.7 y con las medidas de la tabla 5.8, se corrobora esta mínima diferencia entre las tres medidas, observando en algunos valores, un mejor desempeño del modelo dentro de la herramienta Cellgis. Cabe resaltar que el valor de la diferencia máxima obtenida entre las herramientas Cellgis y Cellview con respecto a la campaña de medida, se presenta en un solo punto de los resultados.

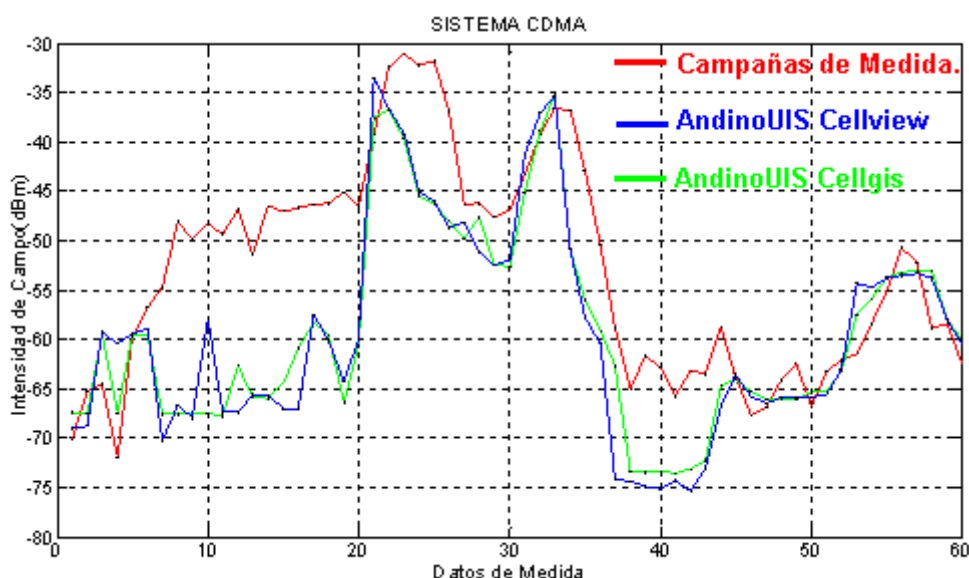


Figura 5.20 Comparación resultados Sistema CDMA

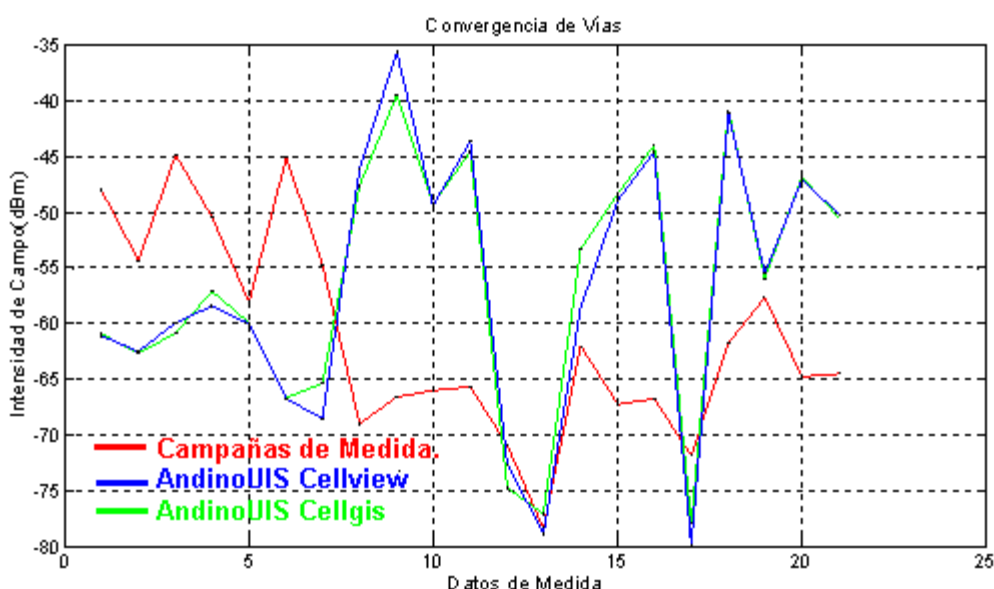
	Campañas de Medida	AndinoUIS Cellview	AndinoUIS Cellgis	Diferencia Campaña de Medidas vs Cellview	Diferencia Campaña de Medidas vs Cellgis
<b>Mediana</b>	-51.79891	-60.53841	-60.77127	8.73949	8.97235
<b>Varianza</b>	116.54804	114.66083	98.40739	1.88720	18.14065
<b>Promedio</b>	-52.93329	-59.46984	-59.28123	6.53654	6.34793
<b>Desviación Estándar</b>	10.79574	10.70797	9.92004	0.08776	0.87569

Tabla 5.9 Análisis estadístico Sistema CDMA.

	<b>Coefficiente de Correlación</b>	<b>Diferencia máxima</b>	<b>Diferencia mínima</b>
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellview</b>	0.707955442	20.49350733	0.22131351
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellgis</b>	0.738772127	21.21382114	0.20555307

**Tabla 5.10** Desempeño Sistema CDMA.

Para el análisis del sistema CDMA, presentado con la figura 5.20 y las tablas 5.9 y 5.10, se observa que el desempeño del modelo Andino UIS sobre la herramienta Cellgis, es similar que para el sistema TDMA, en donde a partir del valor del coeficiente de correlación encontramos una mayor similitud de los resultados dentro del Cellgis al compararlo con la campañas de medida.



**Figura 5.21** Comparación resultados Convergencia de Vías.

**Tabla 5.11** Análisis estadístico Convergencia de Vías.

	<b>Campañas de Medida</b>	<b>AndinoUIS Cellview</b>	<b>AndinoUIS Cellgis</b>	<b>Diferencia Campaña de Medidas vs Cellview</b>	<b>Diferencia Campaña de Medidas vs Cellgis</b>
<b>Mediana</b>	-64.5283	-56.5003	-55.94214	8.028	8.58616
<b>Varianza</b>	82.56218	147.89326	132.2037	65.33107	49.64160
<b>Promedio</b>	-61.35215	-56.62698	-56.37545	4.72517	4.97669
<b>Desviación Estándar</b>	9.986373	11.16113	10.49799	1.17476	0.511617

	<b>Coefficiente de Correlación</b>	<b>Diferencia máxima</b>	<b>Diferencia mínima</b>
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellview</b>	0.149796	30.9093	0.3954
<b>Campañas de medida y AndinoUIS Cellgis</b>	0.146541	27.04355	1.35154

**Tabla 5.12** Desempeño Convergencia de vías.

Teniendo en cuenta que el desarrollo del Andino UIS, buscaba mejorar el nivel de predicción en la convergencia de calles o vías como uno de sus principales objetivos, se puede observar a partir de la figura 5.21 y las tablas 5.11 y 5.12, que los resultados son aceptables, resaltando que para el modelo dentro de la herramienta Cellgis, tiene un error aproximadamente del 5.1% en la desviación estándar comparado con las campañas de medida, presentado mejores resultados que para el modelo dentro del Cellview, ya que este presenta un error del 11.7% en la desviación estándar al compararlo con las campañas de medida.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1 CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos del modelo Andino UIS dentro de la herramienta CellGis, se justifica el desarrollo de esta investigación, ya que el desempeño de la herramienta es el correcto, al compararlo con otras herramientas desarrolladas para la planificación de redes celulares, teniendo en cuenta que es un proceso rápido y de fácil comprensión por parte del usuario que lo este usando. Este trabajo permite que las nuevas investigaciones que se desarrollen en el campo de las telecomunicaciones este basado en el uso y mejoramiento del CellGis, orientado a realizar nuevos servicios. A partir de esto, la Alianza RadioGIS y la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander, poseen el desarrollo de una herramienta propia, caracterizada por modelar correctamente la radiopropagación en ciudades de tipo andino, por medio del modelo Andino UIS, integrada con una cartografía completa (altura terreno + altura de edificios), de tipo digital de la ciudad de Bucaramanga. Por consiguiente con esta investigación, el compromiso del grupo RadioGIS se ha cumplido a cabalidad y con un desempeño correcto y satisfactorio, quedando a disposición para su manejo dentro del proyecto que se desarrolla para Colciencias.

Inicialmente la herramienta CellGis, desde el punto de vista de un usuario, brinda la posibilidad de conocer la radiación que se presenta en cualquier punto geográfico de interés, con datos simulados, garantizando su correcto funcionamiento.

La implementación del modelo Andino UIS dentro de la herramienta CellGis facilita y agiliza la ejecución del modelo y la respectiva visualización de los resultados. Anteriormente la obtención de los resultados de una cobertura, estaba enmarcada

por el conocimiento de un procedimiento en particular dentro de la herramienta CellView, en donde el usuario tenía que ubicar los respectivos archivos de entrada del algoritmo implementado en código C++ , y moverlos a la ruta especificada de la aplicación del modelo para luego ejecutarlo y posteriormente ubicar el archivo de salida dentro de la ruta establecida por el CellView para su correcta visualización. Esto produce que la ejecución del modelo sea una tarea tediosa y demorada. Ahora todo se encuentra enmarcado por una sola herramienta, CellGis, quien proporciona un ambiente amigable, aun para usuarios con conocimientos básicos de Gestión del Espectro Electromagnético y Cartografía, en donde el procedimiento se desarrolla automáticamente, sin la necesidad de que el usuario realice algún otro tipo de pasos diferentes dentro de la herramienta.

El modelo puede tener en cuenta cualquier tipo de archivo de texto que contenga los parámetros de las antenas. CellGis hasta el momento solo proporcionaba la ruta de ubicación de este archivo y en la simulación de sus modelos idealizaba estas antenas con una antena isotrópica en donde la ganancia de la antena es cero. Como parte del desarrollo del modelo se implementó dentro del CellGis, el código para que estos archivos fueran leídos de tal manera que las características de la respectiva antena seleccionada sea tenida en cuenta para el normal desarrollo y mayor precisión del modelo. Es de resaltar que las características del archivo de antenas esta formado por una matriz de 360 por 90, en donde las filas representan el azimut de la antena y las columnas son los grados de inclinación. Para cada posición de azimut e inclinación se tiene una ganancia puntual de la antena, lo que nos posibilita tener en cuenta dentro la propagación las características de la antena.

Según el análisis comparativo, estadístico y gráfico mostrado en el capítulo 5, se validó correctamente el modelo Andino UIS sobre la herramienta CellGis, en donde una posible causa de error dentro de los resultados, puede ser justificada ya que las coordenadas exactas de los puntos en donde se realizaron las campañas de medidas no eran conocidas. En las simulaciones, los puntos que se tomaron para

las comparaciones, estuvieron basados en las rutas mostradas en las investigaciones anteriores<sup>52 53</sup>, intentando seleccionar las coordenadas que fueran lo más precisas posibles. Igualmente este error, también puede ser causado por los cambios que se realizaron al código del modelo Andino UIS al momento de programarlo en java, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

El lenguaje de programación es uno de los aportes más significativos de este trabajo. Java brinda la posibilidad de migrar la herramienta CellGis a la Web, para que dispositivos móviles (PDA's, Celulares) tengan la posibilidad de simular diferentes características de la radiopropagación desde el lugar en donde se encuentra el dispositivo, ingresando al servidor donde este ubicada la herramienta. Esta investigación actualmente ya empezó a desarrollarse dentro del grupo RadioGIS, en el programa de Maestría en Ingenierías de la Universidad Industrial de Santander, tomando como base toda la información y resultados obtenidos a través del presente trabajo.

La versatilidad que se le puede dar a esta herramienta por medio del lenguaje es infinita, las aplicaciones relacionadas con posicionamiento global y prestación de servicios de telecomunicaciones, por ejemplo, el determinar el grado de cumplimiento con las normas de radiación permitidas para la salud humana<sup>54</sup>, teniendo en cuenta cualquier red de sistemas inalámbricos en una región, es solo una de las muchas aplicaciones para esta herramienta.

Por medio de este trabajo, se consolida la relación y cooperación entre diferentes grupos de investigación del país, en este caso RadioGIS y el I2T, en donde los dos

---

<sup>52</sup> Alexis Paolo García Ariza, "COBERTURA PARA SISTEMAS MÓVILES CELULARES EN ENTORNO URBANO ESCARPADO. Universidad Industrial de Santander, E3T, Bucaramanga-Colombia, 2002.

<sup>53</sup> Carreño Lizarazo Yair Ivan, Desarrollo Del Modelo De Propagación Andino UIS®, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

<sup>54</sup> Norma ITU K.52. Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos

grupos están basando sus mayores esfuerzos e intereses en convertir a CellGis, en la herramienta más completa y de mayores características para generar diferentes servicios en las telecomunicaciones. Esto genera que la comunicación entre diferentes instituciones educativas sea mayor y que el enfoque investigativo se incremente para el desarrollo de nuevas herramientas dentro del país.

## 6.2 RECOMENDACIONES.

Para este tipo de investigaciones es necesaria mayor inversión por parte de la Universidad y el Estado, con el fin de desarrollar nuestras propias herramientas destinadas a los servicios de las telecomunicaciones, y de esta forma no tener que depender de herramientas realizadas en otros países y que por lo general no son las adecuadas para países con topografía andina como Colombia.

Los convenios Universidad-Empresa deben ser cada día mayores, con el fin de incentivar el I+D (Investigación + Desarrollo), fortaleciendo así, los grupos de investigación dentro de las instituciones educativas, y por ende incentivando a nuestros profesionales a permanecer en el país.

El constante avance de la tecnología móvil (PDA, Celulares, Notebook), nos hace pensar en las herramientas básicas que se utilizan para el desarrollo de estas. El Lenguaje JAVA proporciona las ventajas que un dispositivo con estas características necesita. Brinda portabilidad, es indiferente a la arquitectura de desarrollo, estas pueden ser ejecutadas en los más variados entornos de red, desde Unix a Windows Nt, pasando por Mac y estaciones de trabajo, con arquitecturas distintas y sistemas operativos diversos. Es Robusto, proporciona numerosas comprobaciones en compilación y en tiempo de ejecución, proporciona distribución en una colección de clases para su uso en aplicaciones de red, que permiten abrir socket<sup>55</sup>, establecer y

---

<sup>55</sup> Concepto abstracto por el cual dos programas, posiblemente situadas en computadores distintos, pueden intercambiarse cualquier flujo de datos de manera fiable y ordenada.

aceptar conexiones con servidores o clientes remotos, facilitando así la creación de aplicaciones distribuidas. Su programación orientada a Objetos apunta hacia entornos cada vez más complejos y basados en red, Java soporta sincronización de múltiples hilos de ejecución (multithreading) a nivel de lenguaje, especialmente útiles en la creación de aplicaciones de red distribuidas, es por esto que nuestra recomendación a la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones es el de implementar dentro de su programa académico cursos sobre el lenguaje JAVA y las ventajas que este presenta.

## REFERENCIAS

Llano Teresa, Ardila Carlos, Herramienta para análisis y planificación de redes celulares.

Carreño Y. Tesis de Grado: Desarrollo del Modelo de propagación Andino UIS, UIS, Bucaramanga, 2005

Castañeda Alejandro. Ajuste del modelo de propagación HATA COST 231 para un entorno metropolitano, UIS, Bucaramanga, 2006.

ANDREI, N. Tchernitchin. Informe al Proyecto: La Regulación Jurídica de la Contaminación Electromagnética en Chile. Laboratorio de Endocrinología y Patología Ambiental. En : Instituto de Ciencias Biomédicas I.C.B.M., Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Comisión de Salud y Medio Ambiente, Colegio Médico de Chile.

ARCVIEW SPATIAL ANALYST: advanced spatial analyst using raster and vector data. U.S : Environmental Systems Research Institute, 1996.

BERTONI, Henry L., Radio Propagation for Modern Wireless Systems, USA: Prentice Hall PTR, 2000

CARREÑO L., Yair I, GARCIA A, Paolo, y ORTEGA B., Homero. Mejoramiento En La Predicción De Pérdidas De Potencia En Sistemas De Comunicación Móviles TDMA/IS-136 Para Entornos Andinos Mediante El Uso Del Modelo COST231-Walfisch-Ikegami, Campañas De Medidas Y El Cellview®, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Grupo de Investigación en Radiocomunicaciones - RadioGIS, Bucaramanga-Colombia, Septiembre de 2004.

COMISIÓN Nacional de Comunicaciones – CNC Argentina. Estándar Nacional de Seguridad de aplicación obligatoria a todos los sistemas de telecomunicaciones que irradian en determinadas frecuencias, Diciembre de 2000.

COMISIÓN Nacional de Telecomunicaciones República Bolivariana de Venezuela - CONATEL. Condiciones De Seguridad Ante Las Emisiones De Radiofrecuencias Producidas Por Estaciones Radioeléctricas Fijas En El Rango De 3 KHz A 300 GHz, Caracas, Julio de 2003.

COUNCIL RECOMMENDATION. Limitation of Exposure of the General Public to Electromagnetic Fields (0 Hz to 300 GHz). En : Official Journal of the European Communities (jul. 1999); p. L199/59-70.

COST 231 Final report, Digital Mobil Radio: COST 231 View on the Evolution Towards 3rd Generation Systems, P. 134-140, Commission of the European Communities and COST Telecommunications, Brussels, 1999.

GALLO, Fideligna, PRIETO, Martha I, GARCÍA A, Paolo, y ORTEGA B., Homero. Análisis Y Comprobación De Los Niveles De Densidad De Potencia En Las Inmediaciones De Una Celda Sectorizada En Un Entorno Andino Utilizando Sistemas De Información Geográfica (GIS) Y MatLab, Universidad del Valle en convenio con la Universitaria de Investigación y Desarrollo – Grupo Maxwell-UDI en Cooperación con el Grupo RadioGIS-UIS, Departamento de Ingeniería Electrónica, Bucaramanga-Colombia, Septiembre de 2004.

GARCÍA A., A. Paolo. Efectos a Pequeña Escala en Canales de Radio para Comunicaciones Móviles Satelitales y Terrestres, y Sistemas “MIMO” Como Alternativa Para El Control del Efecto Multipath y de la Interferencia Co-canal. Universidad Industrial de Santander, E3T, Bucaramanga-Colombia, Septiembre de 2004.

GARCÍA, A. P., ORTEGA, H., NAVARRO, A. and CARDONA, N.. Effect of Terrain on Electromagnetic Propagation in Urban Environments on the Andean Region. En : 7th MANAGEMENT COMMITTEE MEETING COST 273 (Commission of the European Communities and COST Telecommunications, "Towards Mobile Broadband Multimedia Networks") (2003 : Paris). 11 p. TD-(03)065.

GARCÍA, A. P., ORTEGA, H., NAVARRO, A. and RODRÍGUEZ, H.. Effect of Terrain on Electromagnetic Propagation in Urban Environments on the Andean Region, Using the COST 231- Walfisch-Ikegami Model and GIS Planning Tools. En : TWELFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANTENNAS AND PROPAGATION (ICAP 2003), University of Exeter, (2003 : Exeter-UK). 6 p. ISBN 0 85296 752 7, ISSN 0537-9989.

GARCÍA A., A. Paolo et al. Efectos del terreno en la propagación electromagnética en entornos urbanos sobre la región andina, usando el modelo COST231-Walfisch-Ikegami y herramientas de planificación basadas en GIS. En : I2TS'2002 - INTERNATIONAL INFORMATION TECHNOLOGY SYMPOSIUM (2002 : Florianopolis-Brasil). ISBN 85-89264-01-7.

GARCÍA L., Cristian A., MELÉNDEZ M., José L, GARCÍA A, Paolo, y ORTEGA B., Homero. Caracterización De La Radiopropagación En Las Comunicaciones Móviles Con Tecnología CDMA En Presencia De Terreno Escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Grupo de Investigación en Radiocomunicaciones - RadioGIS, Bucaramanga-Colombia, Septiembre de 2004.

LEE, William C. Y. Mobile Communications Engineering, USA: McGraw-Hill Book Company, 1998.

LEE, William C. Y. Mobile Cellular Telecommunications Systems, USA: McGraw-Hill Book Company, 1989.

MALDONADO, Diego A., GARCIA A, Paolo y ORTEGA B., Homero. Predicción De Pérdidas De Potencia En Sistemas De Comunicación Móviles PCS Para Entornos Andinos Mediante El Modelo Saunders-Bonar-Irregular, Campañas De Medidas Y El Cellview®, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Grupo de Investigación en Radiocomunicaciones - RadioGIS, Bucaramanga-Colombia, Septiembre de 2004.

MINISTERIO DE COMUNICACIONES DE COLOMBIA. Proyecto de decreto por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se define metodología para la medición y se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas, Colombia, 2004.

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO DE ESPAÑA. Informe Técnico Elaborado por el Comité de Expertos “Campos Electromagnéticos y Salud Pública”. 2001.

[20]. RAPPAPORT, Theodore S., Wireless Communications: Principles and Practice, New Jersey U.S: Prentice Hall PTR, 1996.

RECOMENDACIONES ICNIRP. Recomendaciones para Limitar la Exposición a Campos Eléctricos, Magnéticos y Electromagnéticos (Hasta 300 Ghz). En : Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No-Ionizantes.

ROHDE&SCHWARZ. Miniport receiver EB200 - portable monitoring from 10kHz to 3GHz [online]. [Munich, Germany] : Rohde&Schwarz, 2002. Available from Internet: <URL:<http://www.rohde-schwarz.com>>.

ROIG G., Vicente. Planificación y Análisis de Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación Sobre CellView, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia España, 1996.

SAUNDERS, Simon R., Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, Baffins Lane, Chichester, West Sussex U.K: John Wiley & Sons, Ltd., 1999.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Recomendación UIT-T K.52. Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Febrero de 2000.

VARI-TILT ANTENNAS for Diversity and Sectorization “DB874G90R and 855DDH90E Antennas”, 2004. Available from Internet: <URL:<http://www.decibelproducts.com>>.

Eliades D.E., terrain Simulation for the Cascaded Cylinder Diffraction Model, IEE Proceedings-H vol, 140, N|4, August 1993.

## ANEXO A.

### Modelo Andino UIS – Cellgis

#### A.1 CÓDIGO MODELO ANDINO UIS JAVA IMPLEMENTADO DENTRO CELLGIS.

```

/*****
/*****          MODELO DE PROPAGACION AndinoUIS
/*****          VERSIÓN PARA CELLGIS
/*****
/*****          JOHN CAMILO SOLANO ARENAS
/*****          LEONARDO ANDRES JAIMES FAJARDO
/*****          UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
/*****          ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
/*****          BUCARAMANGA-COLOMBIA 2008
/*****          RadiogIS - 2008
/*****

package edu.icesi.cellgis.api.propagacion;

import VisualNumerics.math.Sfun;
import VisualNumerics.math.nuevo.Complex;
import edu.icesi.cellgis.api.mapas.*;
import edu.icesi.cellgis.api.util.Matriz;
import java.awt.Dimension;
import java.util.HashSet;
import java.util.Set;
import java.io.*;
import java.util.*;

/**
 * MODELO DE PROPAGACION AndinoUIS Version para CellGIS
 * UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 * ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
 * @version 1.0
 * @author John Camilo Solano Arenas y Leonardo Andres Jaimes Fajardo
 * @since Enero 2008

public class ModeloAndinoUIS implements Modelo
{
/** Constante PI
static final double PI = Math.abs(Math.acos(-1));
/** Radio Efectivo de la Tierra (m)
final double Re = Math.pow(8, 6);
/** Vector para almacenar los grids de entrada
float mapa[];
/** Vector para almacenar los grids de salida
float campo[];
/** Variables para los vectores de posición del perfil
int x[],y[],vec1[];
/** Vector para el almacenamiento de los perfiles
double perfil[];
/** Variable para la creacion del mapa
float xllcorner, yllcorner, sinDatos;

/** Arreglo para almacenamiento del diagrama de radiacion
static double gananciaSalida[][];

```

```
/** Variable para un ciclo
    int i,j;
/** Para cargar el diagrama de radiación
    int azimut_i,theta_i;
/** Fila del rx (Punto de Recepción)
    int fr,fraux;
/** Columna del rx (Punto de Recepción)
    int cr,craux;
/** Para almacenamiento del tamaño de las matrices
    int idr,ind2,ind;
/** Para la creación del vector X
    double dx;
/** Para la creación del vector X
    double dy;
/** Tamaño de la celda
    int el;
/** Variable para la distancia tx-rx en numero de celdas
    double e;
/** Variable para la creación de los vectores X y Y
    double paso,aux;

/** Variable para el cálculo del promedio de alturas de edificios y terreno
    int posiciontx,fin,j_ini,n_nocero,n_nocero_du;

/** Alturas máxima del perfil general
    double hmax;
/** Alturas mínima del perfil general
    double hmin;
/** Alturas promedio del perfil general
    double hmed;
/**Offset de Tx(Punto de Transmisión) del perfil general
    double H;
/** Ultima altura del perfil general
    double hu;
/** Variable para el cálculo de la Distancia media entre edificios
    int this_i,next_i,ultimo_edif;
/** Distancia media entre edificios altura del terreno de referencia
    double d;
/**Altura del terreno de referencia
    double Href;
/** Orientación del perfil
    double tan,beta;
/** Orientación de la vía
    int cuad_x,cuad_y;
/** Ganancia directa
    double Gt_direct;
/** Ganancia directa
    double Gt_refle;
/** Variable Auxiliar
    double raux;
/** Potencia Isotropica Irradiada Efectiva
    double pire;
/** Ganancia del receptor en dB
    double Grx;
/** Frecuencia del transmisor en MHz
    double frecuencia;
/** Altura de tx
    double ht;
/** Rx y Alturas auxiliares para último y penultimo edificio
```

```

    double hr;
    /** Número de filas y columnas del grid
    int nfils,ncols,prod;
    /** Fila donde se encuentra el tx
    int ft;
    /** Columna donde se encuentra el tx
    int ct;
    /** Lado de la celda en metros
    int celda;
    /** Verificación de existencia en disco del diagrama de radiación
    int diagrama;
    /** Angulo de máxima potencia con respecto al Norte del mapa
    float correc_azimut;
    /** Inclinación vertical de la antena respecto al plano X-Y
    float correc_theta;
    /** Variables utilizadas como datos de los calculos finales
    /** Distancia tx-rx (en m)
    double R,w;
    /** Número de edificios en el perfil
    int n_edif;
    /** Para la longitud de onda y ángulo de incidencia del rayo
    double lambda;
    /** Ganancia de la antena transmisora (dB)
    double Gt;
    /** Variable para identificar orientación
    int k=1,kl=1,count=0,countax=0,countay=0,countaz=0,flag=0,p=0;
    /** Variable para identificar orientación
    int xc[], yc[],pdaa[],m,n,mx,coorx1,coorx2,coory1,coory2,coory3,coorx3;
    /** Variable para identificar orientación
    double pda,dyc,dxc,dxco,dyco;
    /** Variable para identificar orientación
    double indd,inda;
    /** Variable para identificar orientación
    double ori;
    /** Pérdidas por espacio libre
    double Lo;
    /**Pérdidas por difracción de múltiples fillos de cuchillo antes del techo del
    *edificio final
    double Lmsd;
    /**Pérdidas debidas a una única difracción final hacia el nivel de la calle
    double Lrts;
    /**Pérdidas por difracción en las convergencias de vías
    double andino;
    /** Perdidas por orientacion de la via
    double Lori;
    /** Incremento de Path Loss debido a una antena de la radio base
    double ka;
    /** Dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples fillos de
    cuchillos versus la distancia de radio
    double kd;
    /** Dependencia de las pérdidas por difracción debidas a múltiples fillos de
    cuchillos versus la frecuencia de radio
    double kf;
    /** Factores de Perdida
    double L,Lb,Lbsh;
    /** Delta de la Altura de la posicion ultima donde se quiere hallar el campo
    double Dhmovil;
    /**Direccion de la posicion de la antena en el disco, proporcionada por los
    parametros de entrada
    String diag;
  
```

```

// *Variable para hallar la posición de tx
private double tamañoY;

public ModeloAndinoUIS()
{
    mapa = null;
    campo = null;
    vecl=null;
}

//*****
//                               Bucle principal
//*****
/**
 * Devuelve un objeto Cobertura que contiene la potencia en
 * cada celda de la cobertura.
 *
 * @return Cobertura generada por el modelo.
 * @throws ModeloException si ocurre algún error al tratar de generar la cobertura

public Cobertura getCobertura()throws ModeloException
{
    try{
        CoberturaMapaASCII resultado;

        /////// GENERAR GANANCIA ANTENA//////////
        if (diag!=null)
            gananciaSalida=ganancia(diag) ;
        else
            diagrama=0;
        ////////////////////////////////////////////////////////////////////

        for(fr=0;fr<nfiles;fr++)
        {

            Paso2:
            for(cr=0;cr<ncols;cr++)
            {
                ind=(ncols * fr) + cr;
                if (mapa[ind]<0.0F)
                {
                    campo[ind]= (float)(-9999);
                    continue;
                }
            }

            //*****
            //Calculo de la dDistancia tx-rx y orientación del perfil
            //*****
            //Inicialización de las variables

n_nocero_du=0;n_nocero=0;hmed=0;H=0;R=0;d=0;raux=0;hu=0;hmin=hmax=0;ori=0.0;n_edif=
0;ultimo_edif=e1=0;e=0;
            Dhmovil=0;beta=0.0;L=Lb=Lrts=Lmsd=Lori=andino=0;
            k=1;k1=1;count=0;countax=0;countay=0;countaz=0;flag=0;p=0;
            coorx2=coorx1=coorx3=0;
            coory1=coory2=coory3=0;
            craux=cr;

```

```

        fraux=fr;
        dx=cr-ct;
        dy=fr-ft;
e=(double)Math.sqrt(dx*dx+dy*dy); // Distancia tx-rx (en numero de celdas) sin
contar la celda del transmisor
        R=e*celda; // Distancia tx-rx (en m)
        if (R==0.0)
            R=0.0001; // Evita errores de división por 0
        if (dx==0.0)
            dx=0.0001; // Evita errores de división por 0
        tan=dy/dx; // Catetos del perfil
        beta=Math.atan(tan); // Angulo de orientación del perfil en
radianes
        beta=(beta*180)/(PI); // Angulo en grados
        // Reserva de memoria
        e1= (int)Math.floor(e)+1; // Tamaño de los vectores (x,y) y
perfiles en número de celdas (incluye el rx y tx)
        x= new int[e1]; // En x[] se guardan las columnas y en y[] las
filas
        y= new int[e1]; // del grid que determina los puntos
perteneientes al perfil
        // Creacion del vector x
        paso=(e==0) ? 0 :(double)(dx/Math.floor(e)); // Para definir
la cantidad de avance
        for(i=0;i<(e1-1);i++) // Como referencia se toma a Tx
        {
            aux=(double)(ct+i*paso)-(double)Math.floor(ct+i*paso); // Para
la corrección diagonal debido a celdas cuadradas
            if(aux<0.5)
            {
                x[i]=(int)Math.floor((double)ct+(double)i*paso) ; //
Asigna una posición no mayor
            }
            else
            {
                x[i]=(int)Math.ceil((double)ct+(double)i*paso) ; //
Asigna una posición no menor
            }
        }
        x[e1-1]=cr; // El último punto no se
interpola, al igual que el primero
        // Creacion del vector y
        paso=(e==0) ? 0 : (double)(dy/Math.floor(e)); // Igual que el
vector x
        for(i=0;i<(e1-1);i++)
        {
            aux=(ft+i*paso)-(double)Math.floor(ft+i*paso) ;
            if(aux<0.5)
            {
                y[i]=(int)Math.floor((double)ft+(double)i*paso) ;
            }
            else
            {
                y[i]=(int)Math.ceil((double)ft+(double)i*paso) ;
            }
        }
        y[e1-1]=fr;

//*****
// Se halla el perfil de obstáculos del mapa digital (Referenciado a la altura del

```

```

Receptor)
/*****
    perfil=new double[e1];
    idr=(int)ncols*y[e1-1]+x[e1-1];
    Href=mapa[(int)idr]; // Altura de la
posición del Receptor
    for(j=0;j<(e1-1);j++)
    {
        ind2 = ncols*y[j]+x[j]; // La manera de leer una matriz en forma de vector
        perfil[j]=(double)mapa[(int)ind2]-Href; // Alturas referenciadas con
respecto a la del receptor
    }
    perfil[e1-1] = Href+hr; // Se incluye la altura
del receptor

/*****
//
// Parámetros del Modelo Andino -UIS
/*****
// Se determina si el tx esta en la calle o en un edificio
if (perfil[0]>0) posiciontx=1; // Edificio
else posiciontx=0; // Calle
// Se almacenará en vec1 los indices del perfil en los que hay
obstáculos,si el tx
// está en un edificio, este edificio no cuenta como obstáculo
vec1= new int[e1];
j_ini=0;
fin=0;
if (posiciontx==1 && e1>=2){
    do {
        // avanza el índice j_ini hasta llegar al primer edificio
        j_ini = j_ini+1;
        if (j_ini<=(e1-1))
        {
            if (j_ini==(e1-1))fin=1;
            if (perfil[j_ini]<=0D) fin=1;
        }
    }
    while ((fin==0) || (j_ini<(e1-1))); // añadido para evitar acceso a
otras posiciones
}
/*****
//
// Calcula la altura promedio de los obstáculos
/*****

hmed=hu=0;
n_nocero=0;
for(j=j_ini;j<e1;j++)
{
    if (perfil[j]>0)
    {
        if (n_nocero==0) hmax=hmin=perfil[j];
        vec1[n_nocero++]=j ;
        hmed+=perfil[j];
        hu=perfil[j];
        if (hu<hmin) hmin=hu;
        if (hmax<hu) hmax=hu;
    }
}
if (n_nocero==0)
{

```

```

        linea_de_vista();
        continue Paso2;
    }
    else hmed=hmed/n_nocero; // hmed = hroof
    H=ht-hmed; // H = delta hbase
    //*****
    // Calcula la dDistancia promedio entre los obstáculos
    //*****
    d=0;
    n_edif=ultimo_edif=0;
    for(j=0;j<(n_nocero-1);j++)
    {
        this_i=vec1[j];
        next_i=vec1[j+1];
        if(perfil[this_i]>perfil[next_i])
        {
            n_edif+=1;
            if (ultimo_edif!=0) d+=(this_i-ultimo_edif)*R/Math.floor(e);
            ultimo_edif=this_i;
        }
        else if ((next_i-this_i)>1)
        {
            n_edif+=1;
            if (ultimo_edif!=0) d+=(this_i-ultimo_edif)*R/Math.floor(e);
            ultimo_edif=this_i;
        }
    }
    if (ultimo_edif!=0) d+=(double)(vec1[n_nocero-1]-ultimo_edif)*R/Math.floor(e);
    d=(n_edif>0) ? d/n_edif : 0;
    w=10;
    //*****
    // Identificación y cálculo de vías y convergencias
    //*****
    xc = new int[350];
    yc = new int[350];
    pdaa = new int[350];
    // Coordenadas de la espiral
    for (m=1;m<18;m++){
        if ((m%2)==0){
            mx = 1;
        }
        else{
            mx = -1;
        }
        for (n=1;n<=(2*m);n++){
            if (n<=m){
                xc[k]= craux + mx;
                yc[k]=fraux;
                craux=xc[k];
            }
            else{
                yc[k]=fraux + mx;
                xc[k]=craux;
                fraux=yc[k];
            }
        }
        k = k+1;

        if (k>=300){
            break;
        }
    }

```

```

    }
  }
  // Identificación del entorno
  for (i=1;i<=6;i++){
    for (j=1;j<=((8*i)+1);j++){
      indd = (int) ncols * yc[k1+1] + xc[k1+1];
      inda = (int) ncols * yc[k1] + xc[k1];
      if
((indd<0)|| (inda<0)|| (indd>=(ncols*nfiles))|| (inda>=(ncols*nfiles))){
        ori=0.0;
        perdidas();
        continue Paso2
      }
      else {
        pda = (int)(mapa[(int)indd]-mapa[(int)inda]);
        pdaa[k1] = Math.abs((int)pda);
        if (pdaa[k1]>=1){
          count++;
          countay++;
          countaz++;
          if (countay==1){
            coory1 = yc[k1+1];
            coorx1 = xc[k1+1];
          }
          if (countay==2){
            coory2 = yc[k1];
            coorx2 = xc[k1];
          }
          if (countaz==4){
            coory3 = yc[k1];
            coorx3 = xc[k1];
          }
        }
      }
      k1=k1+1;
    } // cierra for j<=((8*i)+1)
    if (k1>=300)
      break;
    if(count>=6){
      flag=1; // Es una convergencia
      orientacion();
      continue Paso2;
    }
    else{
      if(count==4)
        countax=count;
      count=0;
    }
    if ((coory1==coory2)&&(coorx1==coorx2))
    {
      countay=0;
    }
  }

  if (countax==4){
    flag=2; // Es una Vía
  }
  else{
    flag=3; // Es un edificio
  }
}

```

```

        orientacion();
    } // FOR 2 ncols
} //fin del bucle principal // FOR1  nfiles

Matriz losResultados = new Matriz(campo, nfiles, ncols);
MapaASCII mapaAscii = new
MapaASCII(losResultados,celda,sinDatos,xllcorner,yllcorner);

mapaAscii.setNivelVisualizacion(edu.icesi.cellgis.api.mapas.MapaASCII.Resolucion.OC
TAVO);

    resultado = new CoberturaMapaASCII(mapaAscii);
    return resultado;
}
    catch (ArrayIndexOutOfBoundsException e2){
        throw new ModeloException("El radio de la cobertura supera las
fronteras del mapa ");
    }
    catch(Exception e3){
        throw new ModeloException("Problema indeterminado", e3);
    }
}

////////////////////////////////////
////
/**
 * Proporciona al modelo la información del mapa al cual se le va a
 * calcular la cobertura.
 *
 * @param mapa Implementación de la interfaz Mapa adecuada para el modelo.

public void setMapa(Mapa mapa)
{
    MapaASCII mapaAsc = (MapaASCII)mapa;
    nfiles = mapaAsc.getFilas();
    ncols = mapaAsc.getColumnas();
    celda = mapaAsc.getCelda();
    tamañoY = mapaAsc.getTamaño().getHeight();
    xllcorner = mapaAsc.getXgeoref();
    yllcorner = mapaAsc.getYgeoref();
    sinDatos = mapaAsc.getSindatos();
    prod = nfiles * ncols;
    this.mapa = mapaAsc.getMapa().getVector();
    campo = new float[prod];
}

/**
 * Devuelve una cadena especificando la extensión del mapa
 * que soporta el modelo.
 *
 * @return colección de extensiones de los mapas que soporta el modelo.

public Set getTiposMapa()
{
    Set tipos = new HashSet(1);
    tipos.add("asc");
    return tipos;
}

/**

```

```

* Devuelve una cadena especificando la clase
* que contiene la implementación de cobertura para el modelo.
*
* @return Cadena que indica la clase de la implementación de cobertura.

    public String getClaseCobertura()
    {
        return "edu.icesi.cellgis.api.propagacion.CoberturaMapaASCII";
    }

/**
 * Este método entrega al modelo los parámetros necesarios para generar la
cobertura.
 *
 * @param parametros Objeto de tipo ParametrosModelo.

    public void setParametrosModelo(ParametrosModelo parametros)
    {
        pire = parametros.pire;
        Grx = 3;
        frecuencia = parametros.frecuencia;
        ht = parametros.alturaTorre + parametros.alturaAntena;
        hr = parametros.alturaReceptor;
        diag = parametros.rutaArchivoAntena;
        correc_azimut =parametros.azimut;
        correc_theta = parametros.inclinacionAntena;
        diagrama = 3;
        lambda = (double)300F / frecuencia;
    }

/**
 * Por medio de este método, se informa al modelo de la posición de
 * la antena (desde la esquina inferior izquierda) dentro del área
 *
 * @param coordenada
    public void setUbicacionAntena(CoordenadaUTM coordenada)
    {
        double utmX = coordenada.getX();
        double utmY = coordenada.getY();
        ct = (int)((utmX - xllcorner) / (float)celda);
        ft = (int)((double)((tamañoY + yllcorner) - utmY) / (double)celda);
        if(ft == nfiles)
            ft--;
        if(ct == ncols)
            ct--;
    }

    //*****
//          Lectura Diagrama de la antena transmisora
//*****

/**
 * Diagrama de la antena transmisora que contiene datos del patrón
 * de radiación de la antena (Ganancia).
 * @param r Distancia tx-rx (en m)
 * @param h offset de Tx
 * @param dx Para la creacion de Vector X
 * @param dy Para la creacion de Vector Y
 * @param diagrama Para la seleccion de tipo de antena.
 * @param correc_theta Angulo de antena

```

```

* @param correc_azimut Angulo de antena
* @return Gt Ganancia de la antena transmisora (dB)
*

    public static double diag_tx(double r, double h, int dx, int dy, int
diagrama, double correc_theta, double correc_azimut) throws ModeloException
    {
        double azimut = 0.0;
        double Gt = 0;
        double R = r;
        double H = h;
        double theta=0.0;

        if(R != 0)
        {
            theta = (double)((double)Math.abs(Math.atan2(H, R) -
((double)correc_theta * PI) / 180));
            switch(diagrama)
            {
                case 1: // '\001' Dipolo Elemental
                    Gt = (20 * Sfun.log10(Math.cos(theta)));
                    break;

                case 2: // '\002' Dipolo |/2
                    Gt = (20 * Sfun.log10(Math.cos((PI * Math.sin(theta)) / 2) /
Math.cos(theta)));
                    break;
                case 3: // '\003'
                    if(dx == 0 && dy == 0) {
                        dy = 1;
                        dx = 1;
                    }
                    azimut = (Math.atan2(-dy, dx) - ((double)correc_azimut * PI) / 180);
                    int azimut_i;
                    if(azimut >= 0.0)
                        azimut_i = (int)Math.round((azimut * 180) / PI);
                    else
                        while (azimut < 0.0)
                        {
                            azimut += 6.2831853071795862;
                        }
                    azimut_i = (int)Math.round(360 + (azimut * 180) / PI);
                    if(azimut_i == 360)
                        azimut_i = 0;
                    azimut_i %= 360;
                    int theta_i = (int)Math.round((theta * 180) / PI);
                    Gt = gananciaSalida[azimut_i][theta_i];
                    break;
                case 0: // '\0'
                default:
                    Gt = 0;
                    break;
            }
        }
        return Gt;
    } // Fin diag_tx
//*****
//*
* Por medio de este metodo se toma los valores de la ganancia de la antena
*

```

```

*
* @param rutaArchivoAntena
* @return gananciaAntena
* @throws ModeloException si ocurre algún error al tratar de cargar el archivo
de la antena

```

```

    public static double[][] ganancia(String rutaArchivoAntena) throws
ModeloException {
    try{
        BufferedReader ent = new BufferedReader(new
FileReader(rutaArchivoAntena));
        double gananciaAntena[][]= new double[360][360];
        int cont1=0,cont3=0,cont2=0,cont4=0,cont5=0;
        StringTokenizer stt;
        String linea = ent.readLine();
        while (cont3!=360 ) {
            stt = new StringTokenizer(linea, " ");
            cont1=stt.countTokens();
            if (cont1==360){
                cont3--;
                while(cont5<4){
                    cont3++;
                    while(cont2<90){
gananciaAntena[cont3][cont2++] = Double.parseDouble(stt.nextToken());
                    }
                    cont2=0;
                    cont5++;
                }
            }
            else
                while(cont1>0){
gananciaAntena[cont3][cont2] = Double.parseDouble(stt.nextToken());
                    ++cont2;
                    --cont1;
                }
            linea = ent.readLine();
            cont5=0;
            ++cont3;
            if (cont2>cont4)
                cont4=cont2;
            cont2=0;
        } ent.close();
        return gananciaAntena;
    }
    catch(FileNotFoundException errorFile){
        throw new ModeloException("El archivo de la Antena no se encuentra ");
    }
    catch(IOException erroIO){
        throw new ModeloException("Error indeterminado");
    }
}

//***** PÉRDIDAS CON VISIÓN DIRECTA.*****

//*****
//
//          Metodo para el cálculo con línea de vista
//*****

/** Función para el cálculo con línea de vista

```

```

* @param lambda
* @param R Distancia Tx-Rx (en m)
* @param ht Altura de tx
* @param hr Rx y Alturas auxiliares para último y penultimo edificio
* @param Gt_direc Ganancia de la antena transmisora (dB)Directa
* @param Gt_refle Ganancia de la antena transmisora (dB)Reflejada
* @return L_vdir Linea de vista Directa
*

    public static double two_ray(double lambda, double R, double ht, double hr,
double Gt_direc, double Gt_refle)
    {
        double SIGMA = 0.005;
        Complex base = new Complex();
        Complex epsilon = new Complex(15, -3*lambda);
        double alfa = Math.atan((ht + hr) / R);
        complex aux1 = base.Csub(base.RCmul(Math.sin(alfa), epsilon),
base.Csqrt(base.Csub(epsilon, new Complex(Math.pow(Math.cos(alfa), 2), 0.0))));
        Complex aux2 = base.Cadd(base.RCmul(Math.sin(alfa), epsilon),
base.Csqrt(base.Csub(epsilon, new Complex(Math.pow(Math.cos(alfa), 2), 0.0))));
        Complex sigma_may = new Complex();
        sigma_may.Cdiv(aux1, aux2);
        double r1 = Math.sqrt(Math.pow(R, 2) + Math.pow(ht - hr, 2));
        double r2 = Math.sqrt(Math.pow(R, 2) + Math.pow(ht + hr, 2));
        Complex exp1 = new Complex(Math.cos((2 * PI * r1) / lambda), -Math.sin((2
* PI * r1) / lambda));
        Complex exp2 = new Complex(Math.cos((2 * PI * r2) / lambda), -Math.sin((2
* PI * r2) / lambda));
        double auxd = base.Cabs(base.Cadd(base.RCmul(Gt_direc / r1, exp1),
base.Cmul(base.RCmul(Gt_refle / r2, exp2), sigma_may)));
        double L_vdir = -20 * Sfun.log10((lambda * auxd) / (4 * PI));
        return L_vdir;
    } //FIN two_ray
//*****
//
//          PERDIDAS POR DIFRACCION EN CRUCES
//*****
/* Función para calcular el campo eléctrico en el punto receptor, esto segun al
la formulacion de la
* Formulación de la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) considerado en
las convergencias de las vías
*
* @param lambda Distancia tx-rx (en m)
* @param R offset de Tx
* @param ori Para la creacion de Vector X
* @param w Para la creacion de Vector Y
* @return Gt Ganancia de la antena transmisora (dB)
*

public static double ter_eutd (double lambda,double R,double ori,double w)
{
    int i;
    double li;
    double coefdif,Longi,numonda,eutd;
    double betamas,betamenos,Nmas,Nmenos, amasp, amasn, amenosp, amenosn;
    double x1,x2,x3,x4;
    double F1,F2,F3,F4;
    double A1=0,A2=0,A3=0,A4=0;
    double fac1,fac2,fac3,fac4;
//*****
//***** Almacenamiento de coeficientes *****
//*****

```

```

    double va[]={1.595769140000F,-0.000001702000F,-6.808568854000F,-
0.00057636100F,+6.920691902F,-0.016898657F,-3.050485660F,-
0.075752419F,+0.850663781F,-0.025639041F,-0.150230960F,+0.034404779F};
    double vb[]={-0.000000033F,+4.255387524F,-0.000092810F,-7.780020400F,-
0.009520895F,+5.075161298F,-0.138341947F,-1.363729124F,-
0.403349276F,+0.702222016F,-0.216195929F,+0.019547031F};
    double vc[]={0.000000000F,-
0.024933975F,+0.000003936F,+0.005770956F,+0.000689892F,-
0.009497136F,+0.011948809F,-0.006748873F,+0.000246420F,+0.002102967F,-
0.001217930F,+0.000233939F};
    double vd[]={0.199471140F,+0.000000023F,-
0.009351341F,+0.000023006F,+0.004851466F,+0.001903218F,-
0.017122914F,+0.029064067F,-0.027928955F,+0.016497308F,-
0.005598515F,+0.000838386F};
//*****
Complex base2= new Complex();
Complex temp1= new Complex();
Complex temp2= new Complex();
Longi=(double)((w*R)/(w+1.414*R));
numonda=(double)(2* PI/lambda);
betamas  = (double)((0.75* PI)+ori);
betamenos = (double)((0.75* PI)-ori);
Nmas     = (double)(Math.ceil(((double)betamas+ PI)/(3* PI)));
Nmenos   = (double)(Math.floor(((double)betamenos- PI)/(3* PI)));
amasp    = (double)(2*Math.pow((Math.cos((3* PI*Nmas-betamas)/2)),2));
amasn    = (double)(2*Math.pow((Math.cos((3* PI*Nmas-betamenos)/2)),2));
amenosp  = (double)(2*Math.pow((Math.cos((3* PI*Nmenos-betamas)/2)),2));
amenosn  = (double)(2*Math.pow((Math.cos((3* PI*Nmenos-betamenos)/2)),2));
x1=numonda*Longi*amasn;
x2=numonda*Longi*amenosn;
x3=numonda*Longi*amenosp;
x4=numonda*Longi*amasp;
//*****
Complex sumatoria= new Complex(0,0);
if (x1<4){
    for (i=0;i<12;i++){
        temp1= new Complex(va[i],vb[i]);
        sumatoria =
base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((x1/4),i),temp1));
        A1=(double)(base2.Cabs(sumatoria));
    }
    A1=(double)((1/2)-(Math.sqrt(x1/4)*(double)A1));
}
else {
    for (i=0;i<12;i++){
        temp2= new Complex(vc[i],vd[i]);
        sumatoria
=(base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((4/x1),i),temp2)));
        A1=(double)(base2.Cabs(sumatoria));
    }
    A1=(double)(-(Math.sqrt(4/x1)*A1));
}
//*****
sumatoria = new Complex(0,0);
if (x2<4){
    for (i=0;i<12;i++){
        temp1= new Complex(va[i],vb[i]);
sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((x2/4),i),temp1));
        A2=(double)(base2.Cabs(sumatoria));
    }
}

```

```

    A2=(double)((1/2)-(Math.sqrt(x2/4)*A1));
  }
  else {
    for (i=0;i<12;i++){
      temp2= new Complex(vc[i],vd[i]);
      sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((4/x2),i),temp2));
      A2=(double)base2.Cabs(sumatoria);
    }
    A2=(double)-(Math.sqrt(4/x2)*A2);
  }
  //*****
  sumatoria = new Complex(0,0);
  if (x3<4){
    for (i=0;i<12;i++){
      temp1= new Complex(va[i],vb[i]);
      sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((x3/4),i),temp1));
      A3=(double)base2.Cabs(sumatoria);
    }
    A3=(double)((1/2)-(Math.sqrt(x3/4)*A3));
  }
  else {
    for (i=0;i<12;i++){
      temp2= new Complex(vc[i],vd[i]);
      sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((4/x3),i),temp2));
      A3=(double)base2.Cabs(sumatoria);
    }
    A3=(double)-(Math.sqrt(4/x3)*A3);
  }
  //*****
  sumatoria = new Complex(0,0);
  if (x4<4){
    for (i=0;i<12;i++){
      temp1= new Complex(va[i],vb[i]);
      sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((x4/4),i),temp1));
      A4=(double)base2.Cabs(sumatoria);
    }
    A4=(double)((1/2)-(Math.sqrt(x4/4)*A3));
  }
  else {
    for (i=0;i<12;i++){
      temp2= new Complex(vc[i],vd[i]);
      sumatoria = base2.Cadd(sumatoria,base2.RCmul(Math.pow((4/x4),i),temp2));
      A4=(double)base2.Cabs(sumatoria);
    }
    A4=(double)-(Math.sqrt(4/x4)*A4);
  }
  //***** FUNCION F(X) *****
  F1= (double)Math.sqrt(2* PI*x1)*A1;
  F2= (double)Math.sqrt(2* PI*x2)*A2;
  F3= (double)Math.sqrt(2* PI*x3)*A3;
  F4= (double)Math.sqrt(2* PI*x4)*A4;
  if ( PI+betamenos==0)
    fac1=F1;
  else
    fac1=(double)(1/(Math.tan(0.583* PI-(ori/3))))*F1;
  if ( PI-betamenos==0)
    fac2=F2;
  else
    fac2=(double)(1/(Math.tan(0.083* PI+(ori/3))))*F2;
  if ( PI-betamas==0)

```

```

        fac3=F3;
    else
        fac3=(double)(1/(Math.tan(0.083* PI-(ori/3))))*F3;
    if ( PI+betamas==0)
        fac4=F4;
    else
        fac4=(double)(1/(Math.tan(0.583F* PI+(ori/3))))*F4;
    coefdif=(double)-(Math.sqrt(lambda)/59.217F)*(fac1+fac2+fac3+fac4);
    li=(double)Math.sqrt(R/(0.707*w+0.5*w));
    eutd = (double)(1/R)*li*coefdif;
    if (eutd>1000000F) eutd=100F;
    if (eutd<-100000F) eutd=-100F;
    eutd=(double)(20F* Sfun.log10(R*Math.abs(eutd)));
    return eutd;
}

/**
 * Por medio de este metodo se determina la orientacion, dependiendo si el punto
 * si es una via un convergencia o un edificio que en su caso no tendria
orientacion
 *
    public void orientacion()throws ModeloException{

        // Determinación de la orientación

        if (flag==2){
            // Es una Vía
            dyc = coory1-coory2;
            dxc = coorx2-coorx1;
            if (dxc==0){
                ori=90;
                // La orientación es 90 grados
            }
            else{
                ori=(double)Math.atan(dyc/dxc);
                ori=(ori*180)/( PI);
                if (ori<0.0) ori=180 + ori;
            }
        }
        if (flag==1){
            // Es una convergencia
            dyco = (double)Math.abs(coory1-coory3);
            dxco = (double) Math.abs(coorx3-coorx1);
            if (dxco==0){
                ori=90;
                // La orientación es 90 grados
            }
            else{
                ori=(double)Math.atan(dyco/dxco);
                ori=(ori*180)/( PI);
                if (ori<0.0) ori=180 + ori;
                if (ori>=90) ori= ori-90;
            }
        }
        if (flag==3) ori=0.0; // Es un edificio no tiene Orientacion

        /**
        Para encontrar el parámetro de orientación del modelo W-I
        */
        perdidas();
    }

    // * Por medio de este metodo se determina como primera medida en que cuadrante se
    encuentra la orientacion,

```

```

    * posteriormente se encuentran las perdidas correspondientes a espacio Libre
    (Lo), perdidas debido a
    * la orientacion de la via (Lori), perdidas debido la geografía del lugar
    segun la UTD lo que resume
    * el termino eUTD (andino), Pérdidas debidas a una única difracción final hacia
    el nivel de la calle (Lrts)
    * Pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del
    edificio final.
    *
    public void perdidas()throws ModeloException{

//*****
// Para encontrar el parámetro de orientación del modelo W-I
//*****
    cuad_x=ct-cr; // Dependiendo el signo se ubican los cuadrantes con
referencia central en Tx
    cuad_y=ft-fr;
    if (ori>0.0) // Para saber si no hay definida una vía
    {
        if ((cuad_y>0)&&(cuad_x<=0))
        {
            ori=Math.abs(beta-ori); // EL punto receptor está en el primer
cuadrante
            if (ori>90.0) ori=180-ori; // Por si la orientación es mayor de 90°
        }
        if ((cuad_y>=0)&&(cuad_x>0))
        {
            ori=Math.abs(180-(beta+ori)); // El punto receptor está en el
segundo cuadrante
            if (ori>90) ori=180-ori; // Por si la orientación es mayor de 90°
        }
        if ((cuad_y<0)&&(cuad_x>=0))
        {
            ori=Math.abs(beta-ori); // EL punto receptor está en el tercer
cuadrante
            if (ori>90) ori=180-ori; // Por si la orientación es mayor de 90°
        }
        if ((cuad_y<=0)&&(cuad_x<0))
        {
            ori=Math.abs(180-(beta+ori)); // EL punto receptor está en el cuarto
cuadrante
            if (ori>90) ori=180-ori; // Por si la orientación es mayor de 90°
        }
        if ((cuad_x==0)&&(cuad_y==0)) // Centro de referencia
        {
            ori=-1111; // Para identificar que el receptor esta
sobre Tx
        }
    }
    else
    {
        ori=-9999; // Para identificar que no hay vía
    }

//*****
// Cálculo de pérdidas
//*****
// Espacio libre
    Lo=(double)(-20*Sfun.log10(lambda/(4* PI*(R)))); // R y Lambda en (m)

```

```

// Cálculo de Lori debido a la orientación de las vias
if (ori!=-9999)
{
    if (flag==2){
        if (ori>=35){
            if(ori<55)
                Lori=(double)(2.5+0.075*(ori-35));
            else
                Lori=(double)(4-0.114*(ori-55));
        }
        else
            Lori=(double)(-10+0.354*ori);
    }
    if (flag==1){
        ori=(ori* PI)/(180);
        andino=(double)ter_eutd(lambda,R,(double)ori,w);
    }
    if (flag==3){
        Lori=0;
        andino=0;
    }
}
else {
    Lori=0;
    andino=0;
}

Dhmovil=(double)Math.abs(hmed-perfil[e1-1]);
if(n_nocero==1){
    n_nocero=2;
    n_nocero_du=1;
}

raux=(double)(((e1-1)-vecl[n_nocero-2])*R/Math.floor(e));
if(n_nocero_du==1){
    n_nocero--;
    n_nocero_du=0;
}
if ((Dhmovil==0)|| (raux==0)){
    Lrts=0;
}
else{
    Lrts=(double)(-8.2-
10*Sfun.log10(2*(raux))+10*Sfun.log10(frecuencia)+20*Sfun.log10(Dhmovil)+Lori);
}
if (n_edif>0)
{
    if (H<=0)
    {
        Lbsh=0;
        kd=(double)(18 - (15*H/hmed));
        if (R>=500)
            ka = 54 - (0.8*H);
        else
            ka = 54 - (0.8*H*R/500);
    }
    else
    {
        Lbsh=(double)(-18*Sfun.log10(1+H));
        ka=54;
    }
}

```

```

        kd=18;
    }
    kf= (double)(-4 + 0.7*((frecuencia/925)-1)); // Ciudades medianas
    Lmsd=(double)(Lbsh+ka+kd*Sfun.log10(R/1000)+kf*Sfun.log10(frecuencia)-
9*Sfun.log10(d));
    }
    else
        Lmsd=0;

//*****
//                               Pérdidas Totales
//*****
    Lb=Lo+Lmsd+Lrts+andino;
Gt=(double)diag_tx((double)R,H,(int)dx,(int)dy,(int)diagrama,correc_theta,correc_az
imut);
    potencia(); //Potencia recibida en dBm para W-I
}

    /** Cuando existe Linea de Vista (Line Of Ssee {LOS}) el modelo distingue la
diferencia y aplica este metodo

        public void linea_de_vista()throws ModeloException {
            Gt_direc=(double)diag_tx((double)R,(ht-perfil[e1-
1]),(int)dx,(int)dy,(int)diagrama,correc_theta,correc_azimut);
            Gt_direc=(double)Math.pow(10,Gt_direc/20);
            Gt_refle=(double)diag_tx((double)(ht*R/(ht+perfil[e1-
1])),ht,(int)dx,(int)dy,(int)diagrama,correc_theta,correc_azimut);
            Gt_refle=(double)Math.pow(10,Gt_refle/20);
            L=Lb=(double)(two_ray(lambda,R,ht,perfil[e1-1],Gt_direc,Gt_refle));
            Gt=0D;
            potencia();
        }
    /** Se calcula como parametro final el campo en el punto teniendo en cuenta los
parametros de la antena y
    * las perdidas ocasionadas.

        public void potencia(){
            campo[ind]=(new Float(Gt+pire+Grx-Lb)).floatValue(); //Potencia recibida
en dBm para W-I
        }
    }
}

```

## A.2 CLASE COMPLES (Operación con número complejos).

```

package VisualNumerics.math.nuevo;
public class Complex
{
    double r;
    double i;
    public Complex()
    {
    }
    public Complex(double re, double im)
    {
        r = re;
        i = im;
    }
    public double Cabs(Complex z)
    {

```

```

double x = Math.abs(z.r);
double y = Math.abs(z.i);
double ans;
if(x == 0.0D)
{
    ans = y;
} else
if(y == 0.0D)
{
    ans = x;
} else
if(x > y)
{
    double temp = y / x;
    ans = x * Math.sqrt(1.0D + temp * temp);
} else
{
    double temp = x / y;
    ans = y * Math.sqrt(1.0D + temp * temp);
}
return ans;
}
public Complex Cadd(Complex a, Complex b)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = a.r + b.r;
    c.i = a.i + b.i;
    return c;
}
public Complex Cdiv(Complex a, Complex b)
{
    Complex c = new Complex();
    if(Math.abs(b.r) >= Math.abs(b.i))
    {
        double r = b.i / b.r;
        double den = b.r + r * b.i;
        c.r = (a.r + r * a.i) / den;
        c.i = (a.i - r * a.r) / den;
    } else
    {
        double r = b.r / b.i;
        double den = b.i + r * b.r;
        c.r = (a.r * r + a.i) / den;
        c.i = (a.i * r - a.r) / den;
    }
    return c;
}
public Complex Cmul(Complex a, Complex b)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = a.r * b.r - a.i * b.i;
    c.i = a.i * b.r + a.r * b.i;
    return c;
}
public Complex ComplexC(double re, double im)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = re;
    c.i = im;
    return c;
}

```

```

}
public Complex Conjg(Complex z)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = z.r;
    c.i = -z.i;
    return c;
}
public Complex Csqrt(Complex z)
{
    Complex c = new Complex();
    if(z.r == 0.0D && z.i == 0.0D)
    {
        c.r = 0.0D;
        c.i = 0.0D;
        return c;
    }
    double x = Math.abs(z.r);
    double y = Math.abs(z.i);
    double w;
    if(x >= y)
    {
        double r = y / x;
        w = Math.sqrt(x) * Math.sqrt(0.5D * (1.0D + Math.sqrt(1.0D + r * r)));
    } else
    {
        double r = x / y;
        w = Math.sqrt(y) * Math.sqrt(0.5D * (r + Math.sqrt(1.0D + r * r)));
    }
    if(z.r >= 0.0D)
    {
        c.r = w;
        c.i = z.i / (2D * w);
    } else
    {
        c.i = z.i < 0.0D ? -w : w;
        c.r = z.i / (2D * c.i);
    }
    return c;
}
public Complex Csub(Complex a, Complex b)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = a.r - b.r;
    c.i = a.i - b.i;
    return c;
}
public Complex RCmul(double x, Complex a)
{
    Complex c = new Complex();
    c.r = x * a.r;
    c.i = x * a.i;
    return c;
}
}

```

### A.3 DESCRIPCIÓN CÓDIGO DEL MODELO ANDINO UIS CELLGIS.

**edu.icesi.cellgis.api.propagacion**  
**Class ModeloAndinoUIS**

java.lang.Object

└ **edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloAndinoUIS**

**All Implemented Interfaces:**

edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

```
public class ModeloAndinoUIS
extends java.lang.Object
implements edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo
```

MODELO DE PROPAGACION AndinoUIS Version para CellGIS UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

**Since:**

Enero 2008

Constructor Summary	
<a href="#"><u>ModeloAndinoUIS</u></a> ( )	

Method Summary	
static double	<a href="#"><u>diag_tx</u></a> (double r, double h, int dx, int dy, int diagrama, double correc_theta, double correc_azimut) Diagrama de la antena transmisora que contiene datos del patrón de radiación de la antena (Ganancia).
static double[][]	<a href="#"><u>ganancia</u></a> ( java.lang.String rutaArchivoAntena ) Por medio de este metodo se toma los valores de la ganacia de la antena
java.lang.String	<a href="#"><u>getClaseCobertura</u></a> ( ) Devuelve una cadena especificando la clase que contiene la implementación de cobertura para el modelo.
edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Cobertura	<a href="#"><u>getCobertura</u></a> ( ) Devuelve un objeto Cobertura que contiene la potencia en cada celda de la cobertura.
java.util.Set	<a href="#"><u>getTiposMapa</u></a> ( ) Devuelve una cadena especificando la extensión del mapa que soporta el modelo.
void	<a href="#"><u>linea de vista</u></a> ( ) Cuando existe Linea de Vista (Line Of Ssee {LOS}) el modelo distingue la diferencia y aplica este metodo
void	<a href="#"><u>orientacion</u></a> ( ) Por medio de este metodo se determina la orientacion, dependiendo si el punto si es una via un convergencia o un edificio que en su caso no tendria orientacion
void	<a href="#"><u>perdidas</u></a> ( ) Por medio de este metodo se determina como primera medida en que cuadrante se ecuentra la orientacion, posteriormente se encuentran las perdidas correspondientes a espacio Libre (Lo), perdidas debido a la orientacion de la via (Lori), perdidas debido la geografia del lugar segun la UTD lo que resume el termino eUTD (andino), Pérdidas debidas a una única difracción final hacia el nivel de la calle (Lrts) Pérdidas por difracción de múltiples fillos de cuchillo antes del techo del edificio final.

void	<a href="#"><u>potencia()</u></a> Se calcula como parametro final el campo en el punto teniendo en cuenta los parametros de la antena y las perdidas ocasionadas.
void	<a href="#"><u>setMapa</u></a> (edu.icesi.cellgis.api.mapas.Mapa mapa) Proporciona al modelo la información del mapa al cual se le va a calcular la cobertura.
void	<a href="#"><u>setParametrosModelo</u></a> (edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ParametrosModelo parametros) Este método entrega al modelo los parámetros necesarios para generar la cobertura.
void	<a href="#"><u>setUbicacionAntena</u></a> (edu.icesi.cellgis.api.mapas.CoordenadaUTM coordenada) Por medio de este método, se informa al modelo de la posición de la antena (desde la esquina inferior izquierda) dentro del área
static double	<a href="#"><u>ter_eutd</u></a> (double lambda, double R, double ori, double w) Función para calcular el campo eléctrico en el punto receptor, esto segun al la formulacion de la Formulacion de la Teoria Uniforme de la Difracción (UTD) considerado en las convergencias de las vías
static double	<a href="#"><u>two_ray</u></a> (double lambda, double R, double ht, double hr, double Gt_direc, double Gt_refle) Función para el cálculo con línea de vista

**Methods inherited from class java.lang.Object**

clone, equals, finalize, getClass, hashCode, notify, notifyAll, toString, wait, wait, wait

Variable para hallar la posicion de tx

**Constructor Detail**

**ModeloAndinoUIS**

public **ModeloAndinoUIS**()

**Method Detail**

**getCobertura**

public edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Cobertura **getCobertura**()  
throws

edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException

Devuelve un objeto Cobertura que contiene la potencia en cada celda de la cobertura.

**Specified by:**

getCobertura in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Returns:**

Cobertura generada por el modelo.

**Throws:**

ModeloException - si ocurre algún error al tratar de generar la cobertura

**setMapa**

public void **setMapa**(edu.icesi.cellgis.api.mapas.Mapa mapa)

Proporciona al modelo la información del mapa al cual se le va a calcular la cobertura.

**Specified by:**

setMapa in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Parameters:**

mapa - Implementación de la interfaz Mapa adecuada para el modelo.

---

### getTiposMapa

```
public java.util.Set getTiposMapa()
```

Devuelve una cadena especificando la extensión del mapa que soporta el modelo.

**Specified by:**

getTiposMapa in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Returns:**

colección de extensiones de los mapas que soporta el modelo.

---

### getClaseCobertura

```
public java.lang.String getClaseCobertura()
```

Devuelve una cadena especificando la clase que contiene la implementación de cobertura para el modelo.

**Specified by:**

getClaseCobertura in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Returns:**

Cadena que indica la clase de la implementación de cobertura.

---

### setParametrosModelo

```
public void
```

```
setParametrosModelo(edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ParametrosModelo parametros)
```

Este método entrega al modelo los parámetros necesarios para generar la cobertura.

**Specified by:**

setParametrosModelo in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Parameters:**

parametros - Objeto de tipo ParametrosModelo.

---

### setUbicacionAntena

```
public void
```

```
setUbicacionAntena(edu.icesi.cellgis.api.mapas.CoordenadaUTM coordenada)
```

Por medio de este método, se informa al modelo de la posición de la antena (desde la esquina inferior izquierda) dentro del área

**Specified by:**

setUbicacionAntena in interface edu.icesi.cellgis.api.propagacion.Modelo

**Parameters:**

coordenada -

---

### diag\_tx

```
public static double diag_tx(double r,  
                             double h,  
                             int dx,  
                             int dy,  
                             int diagrama,
```

```

        double correc_theta,
        double correc_azimut)
        throws edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
Diagrama de la antena transmisora que contiene datos del patrón de radiación de la antena (Ganancia).
Parameters:
r - Distancia tx-rx (en m)
h - offset de Tx
dx - Para la creacion de Vector X
dy - Para la creacion de Vector Y
diagrama - Para la seleccion de tipo de antena.
correc_theta - Angulo de antena
correc_azimut - Angulo de antena
Returns:
Gt Ganancia de la antena transmisora (dB)
Throws:
edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException

```

---

### ganancia

```

public static double[][] ganancia(java.lang.String rutaArchivoAntena)
        throws edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
Por medio de este metodo se toma los valores de la ganacia de la antena
Parameters:
rutaArchivoAntena -
Returns:
gananciaAntena
Throws:
ModeloException - si ocurre algún error al tratar de cargar el archivo de la antena

```

---

### two\_ray

```

public static double two_ray(double lambda,
        double R,
        double ht,
        double hr,
        double Gt_direc,
        double Gt_refle)
Función para el cálculo con línea de vista
Parameters:
lambda -
R - Distancia Tx-Rx (en m)
ht - Altura de tx
hr - Rx y Alturas auxiliares para último y penultimo edificio
Gt_direc - Ganancia de la antena transmisora (dB)Directa
Gt_refle - Ganancia de la antena transmisora (dB)Reflejada
Returns:
L_vdir Linea de vista Directa

```

---

### ter\_eutd

```

public static double ter_eutd(double lambda,
        double R,
        double ori,

```

double w)

Función para calcular el campo eléctrico en el punto receptor, esto según la formulación de la Teoría Uniforme de la Difracción (UTD) considerado en las convergencias de las vías

**Parameters:**

lambda - Distancia tx-rx (en m)

R - offset de Tx

ori - Para la creación de Vector X

w - Para la creación de Vector Y

**Returns:**

Gt Ganancia de la antena transmisora (dB)

### orientacion

```
public void orientacion()
```

```
    throws edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

Por medio de este método se determina la orientación, dependiendo si el punto si es una vía un convergencia o un edificio que en su caso no tendría orientación

**Throws:**

```
edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

### perdidas

```
public void perdidas()
```

```
    throws edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

Por medio de este método se determina como primera medida en que cuadrante se encuentra la orientación, posteriormente se encuentran las pérdidas correspondientes a espacio Libre (Lo), pérdidas debido a la orientación de la vía (Lori), pérdidas debido a la geografía del lugar según la UTD lo que resume el término eUTD (andino), Pérdidas debidas a una única difracción final hacia el nivel de la calle (Lrts) Pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del edificio final.

**Throws:**

```
edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

### linea\_de\_vista

```
public void linea_de_vista()
```

```
    throws edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

Cuando existe Línea de Vista (Line Of Sight {LOS}) el modelo distingue la diferencia y aplica este método

**Throws:**

```
edu.icesi.cellgis.api.propagacion.ModeloException
```

### potencia

```
public void potencia()
```

Se calcula como parámetro final el campo en el punto teniendo en cuenta los parámetros de la antena y las pérdidas ocasionadas.

## ANEXO B

### RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MEDIDAS Y SIMULACIONES

#### B.1 RESULTADOS MODELO ANDINO UIS CELLGIS CON ANDINO UIS CELLVIEW.

En la comparación de resultados, se presentan los primeros 300 valores de intensidad de campo calculados.

**Tabla B.1.1 Resultados simulación 1 con los parámetros del transmisor de la tabla 5.2.**

SIMULACIÓN ANDINO UIS CELLVIEW	SIMULACIÓN ANDINO UIS CELLGIS	DIFERENCIA
-6,124,173	-61,241,726	-4.00E-06
-60,668,053	-61,868,057	1,200,004
-149,816,284	-15,001,628	0,199996
-151,849,075	-15,144,908	-0,399995
-59,550,201	-60,550,198	0,999997
-59,879,868	-60,079,865	0,199997
-59,511,395	-59,511,395	0
-147,622,253	-14,782,225	0,199997
-147,037,033	-14,883,704	1,800,007
-157,373,215	-15,767,322	0,300005
-148,930,267	-14,903,026	0,099993
-152,554,779	-15,255,478	1.00E-06
-145,505,356	-14,640,535	0,899994
-142,215,698	-1,433,157	1,100,002
-143,183,411	-1,420,834	-1,100,011
-139,301,285	-1,380,013	-1,299,985
-139,827,469	-13,842,746	-1,400,009
-53,654,816	-54,754,818	1,100,002
-53,159,225	-54,159,225	1
-5,247,464	-5,327,464	0,8
-51,901,764	-5,270,176	0,799996
-51,341,209	-52,141,205	0,799996
-50,593,517	-51,793,518	1,200,001
-151,919,312	-15,221,931	0,299998
-132,751,205	-13,275,119	-1,5E-05
-129,897,461	-12,989,746	-1.00E-06
-137,753,159	-13,795,316	0,200001
-137,311,737	-13,731,174	3.00E-06
-13,690,889	-13,690,889	0
-13,605,484	-13,635,483	0,29999
-13,530,658	-13,570,657	0,39999
-138,011,536	-13,821,153	0,199994
-137,424,179	-13,742,418	1.00E-06

-1,245,467	-1,245,467	0
-128,994,858	-12,899,484	-1,8E-05
-131,586,975	-13,338,698	1,800,005
-119,421,478	-12,072,149	1,300,012
-139,025,955	-13,902,597	1,5E-05
-44,070,827	-4,397,083	-0,099997
-44,316,059	-44,416,058	0,099999
-43,966,816	-44,666,813	0,699997
-44,522,388	-45,222,385	0,699997
-45,082,085	-45,482,086	0,400001
-45,445,286	-45,445,286	0
-45,911,392	-45,711,395	-0,199997
-46,279,865	-46,279,865	0
-46,750,198	-46,650,196	-0,100002
-45,721,939	-4,692,194	1,200,001
-46,194,683	-47,194,683	1
-46,568,054	-47,568,054	1
-61,268,051	-62,268,055	1,000,004
-60,887,154	-6,188,715	0,999996
-149,747,833	-14,994,783	0,199997
-149,430,557	-14,963,055	0,199993
-6,054,583	-60,545,834	4.00E-06
-59,867,119	-6,016,712	0,300001
-59,490,021	-5,949,002	-1.00E-06
-145,806,717	-14,690,672	1,100,003
-153,898,392	-15,389,838	-1,2E-05
-144,819,016	-14,621,901	1,399,994
-155,785,782	-15,578,578	-2.00E-06
-152,966,324	-15,336,633	0,400006
-154,625,931	-15,472,594	0,100009
-131,181,915	-13,148,192	0,300005
-142,359,528	-14,105,952	-1,300,008
-142,944,336	-14,264,435	-0,299986
-138,692,566	-13,689,258	-1,799,986
-53,634,426	-54,434,425	0,799999
-133,734,955	-13,373,494	-1,5E-05
-17,522,171	-1,752,217	-1.00E-05
-51,561,371	-5,266,137	1,099,999
-51,795,841	-5,179,584	-1.00E-06
-51,444,183	-51,444,183	0
-167,897,812	-1,501,843	-17,713,512
-134,489,532	-13,448,953	-2.00E-06
-127,521,873	-127,521,866	-7.00E-06
-138,161,469	-13,726,146	-0,900009
-13,772,374	-13,662,372	-110,002
-136,099,197	-1,363,992	0,300003
-135,723,038	-13,602,304	0,300002
-134,984,344	-13,508,435	0,100006
-122,324,036	-122,824,036	0,5

-122,046,967	-12,224,697	0,200003
-151,842,697	-1,521,427	0,300003
-128,569,458	-13,136,946	2,800,002
-137,117,996	-13,711,801	1,4E-05
-16,477,356	-16,520,987	0,43631
-43,545,952	-4,354,595	-2.00E-06
-43,994,186	-4,379,419	-0,199996
-44,248,795	-44,048,798	-0,199997
-44,808,952	-4,460,895	-0,200002
-44,373,859	-4,507,386	0,700001
-45,042,789	-45,542,786	0,499997
-45,315,048	-4,601,505	0,700002
-45,890,018	-46,390,022	0,500004
-4,626,712	-46,267,124	4.00E-06
-46,345,833	-46,545,834	0,200001
-46,825,687	-46,825,684	-3.00E-06
-46,206,253	-4,720,625	0,999997
-46,287,151	-4,728,715	0,999999
-61,294,682	-62,294,685	1,000,003
-6,090,625	-6,190,625	1
-146,247,803	-14,904,782	2,800,017
-151,652,985	-15,185,298	0,199995
-6,054,034	-60,540,344	4.00E-06
-60,152,779	-60,852,783	0,700004
-59,466,522	-60,466,526	1,000,004
-149,615,555	-14,961,555	-5.00E-06
-131,878,021	-13,156,795	-0,310071
-146,163,406	-14,726,341	1,100,004
-138,113,708	-1,381,845	0,070792
-149,825,623	-14,832,993	-1,495,693
-137,924,606	-1,376,806	-0,244006
-144,999,939	-14,579,994	0,800001
-145,887,039	-14,608,704	0,200001
-143,485,184	-14,258,517	-0,900014
-121,355,743	-117,797,455	-3,558,288
-133,422,241	-13,342,224	-1.00E-06
-132,274,185	-12,997,418	-2,300,005
-154,389,404	-15,468,942	0,300016
-52,307,724	-52,307,724	0
-51,436,588	-5,163,659	0,200002
-39,005,714	-39,124,706	0,118992
-151,140,594	-1,512,833	0,142706
-136,562,469	-13,656,247	1.00E-06
-124,892,723	-12,489,272	-3.00E-06
-137,126,755	-13,602,675	-1,100,005
-136,693,146	-13,539,314	-1,300,006
-134,827,255	-13,512,726	0,300005
-162,237,274	-16,223,726	-1,4E-05
-161,697,418	-16,209,743	0,400012

-25,225,094	-25,384,172	0,159078
-144,818,207	-14,541,043	0,592223
-122,212,173	-122,166,245	-0,045928
-47,212,296	-47,693,203	0,480907
-127,671,043	-12,787,105	0,200007
-146,543,457	-14,568,736	-0,856097
-158,174,866	-15,929,802	1,123,154
-35,325,993	-36,973,976	1,647,983
-44,176,006	-43,976,006	-0,2
-44,646,339	-44,546,337	-0,100002
-45,121,319	-45,121,323	4,00E-06
-45,600,159	-4,550,016	-0,099999
-45,482,113	-45,982,117	0,500004
-45,866,524	-46,566,525	0,700001
-45,952,782	-46,852,783	0,900001
-46,440,342	-46,140,343	-0,299999
-4,682,872	-4,682,872	0
-46,917,484	-4,691,748	-4,00E-06
-32,383,736	-33,360,306	0,97657
-48,157,871	-49,392,136	1,234,265
-61,925,686	-61,925,686	0
-164,817,963	-16,481,796	-3,00E-06
-150,396,393	-15,039,641	1,7E-05
-143,860,962	-14,066,095	-3,200,012
-6,013,715	-60,837,147	0,699997
-45,786,751	-4,683,716	1,050,409
-132,595,108	-13,143,369	-1,161,418
-14,873,877	-14,863,878	-0,09999
-40,665,344	-40,658,875	-0,006469
-40,476,551	-40,404,125	-0,072426
-148,959,351	-14,895,934	-1,1E-05
-140,986,694	-1,405,792	-0,407494
-130,578,842	-1,306,873	0,108458
-130,133,911	-1,302,416	0,107689
-125,668,404	-12,457,032	-1,098,084
-13,068,512	-13,068,513	1,00E-05
-129,497,482	-1,296,975	0,200018
-100,343,422	-1,003,032	-0,040222
-15,021,666	-14,800,732	-220,934
-34,421,684	-3,455,428	0,132596
-43,886,833	-4,361,848	-0,268353
-50,701,096	-51,401,096	0,7
-35,110,199	-35,366,806	0,256607
-143,509,613	-14,225,726	-1,252,353
-142,368,118	-14,216,812	-0,199998
-121,357,178	-122,007,126	0,649948
-132,687,195	-1,329,872	0,300005
-119,734,222	-11,970,022	-0,034002
-139,107,925	-14,065,065	1,542,725

-27,543,833	-2,775,428	0,210447
-44,432,663	-4,473,266	0,299997
-150,643,112	-15,057,385	-0,069262
-112,863,022	-11,217,677	-0,686252
-28,764,633	-29,064,323	0,29969
-51,763,653	-5,131,173	-0,451923
-2,767,058	-27,815,622	0,145042
-143,760,239	-14,357,916	-0,181079
-43,521,759	-4,432,176	0,800001
-25,240,507	-2,582,052	0,580013
-44,679,089	-4,437,909	-0,299999
-4,516,494	-4,506,494	-0,1
-45,554,417	-4,555,442	3.00E-06
-4,614,674	-4,594,674	-0,2
-45,741,188	-46,441,193	0,700005
-46,037,151	-4,643,715	0,399999
-143,334,305	-14,333,432	1,5E-05
-28,138,916	-28,105,064	-0,033852
-101,563,316	-10,184,622	0,282904
-43,056,721	-4,445,324	1,396,519
-46,219,124	-46,308,506	0,089382
-48,907,604	-4,909,146	0,183856
-148,222,061	-14,793,079	-0,291271
-15,039,006	-15,039,006	0
-44,592,216	-45,504,223	0,912007
-46,546,516	-4,627,523	-0,271286
-60,659,615	-6,197,606	1,316,445
-40,619,705	-40,604,637	-0,015068
-40,342,918	-40,273,846	-0,069072
-41,972,397	-43,005,085	1,032,688
-130,765,366	-13,088,611	0,120744
-143,687,317	-14,431,166	0,624343
-146,898,361	-14,709,837	0,200009
-134,829,666	-13,374,138	-1,088,286
-130,274,673	-12,880,988	-1,464,793
-114,436,203	-1,129,405	-1,495,703
-116,094,948	-1,159,161	-0,178848
-41,332,455	-414,791	0,146645
-177,279,968	-17,785,257	0,572602
-43,301,025	-43,425,663	0,124638
-32,719,101	-33,126,644	0,407543
-34,952,488	-35,474,545	0,522057
-149,807,922	-147,171	-2,636,922
-143,242,706	-1,428,427	-0,400006
-98,089,401	-98,768,486	0,679085
-11,281,324	-11,456,444	17,512
-129,755,203	-12,988,878	0,133577
-185,807,678	-18,017,186	-5,635,818
-34,204,296	-3,530,487	1,100,574

-23,632,601	-241,157	0,483099
-135,041,016	-13,452,141	-0,519606
-46,281,719	-48,563,385	2,281,666
-42,849,331	-4,304,933	0,199999
-27,179,577	-2,726,647	0,086893
-142,605,972	-1,432,192	0,613228
-34,951,553	-34,826,595	-0,124958
-26,300,861	-2,691,206	0,611199
-39,047,554	-4,086,892	1,821,366
-29,585,419	-30,667,458	1,082,039
-41,610,905	-43,078,465	146,756
-45,505,852	-45,505,856	4.00E-06
-28,081,791	-27,986,889	-0,094902
-32,062,958	-31,875,229	-0,187729
-184,240,067	-18,424,007	3.00E-06
-124,900,833	-12,490,084	7.00E-06
-136,563,477	-13,326,349	-3,299,987
-33,285,477	-32,916	-0,369477
-4,921,537	-49,620,068	0,404698
-62,579,865	-62,579,865	0
-49,127,045	-4,938,949	0,262445
-6,155,278	-6,175,278	0,2
-47,097,126	-4,805,783	0,960704
-41,343,437	-421,155	0,772063
-41,340,622	-41,340,626	4.00E-06
-49,691,124	-50,175,713	0,484589
-43,305,393	-43,630,463	0,32507
-80,226,913	-61,436,172	-18,790,741
-77,449,593	-5,812,121	-19,328,383
-75,434,303	-4,367,275	-31,761,553
-74,110,458	-40,098,206	-34,012,252
-12,987,413	-12,876,784	-110,629
-125,171,616	-12,659,348	1,421,864
-145,992,966	-14,629,297	0,300004
-124,792,709	-12,490,038	0,107671
-39,332,523	-39,747,524	0,415001
-39,503,803	-39,965,034	0,461231
-81,126,007	-66,382,545	-14,743,462
-31,647,141	-32,298,096	0,650955
-113,385,536	-113,385,544	8.00E-06
-42,135,849	-42,386,623	0,250774
-35,891,563	-3,603,447	0,142907
-34,822,807	-3,505,935	0,236543
-102,549,637	-10,236,956	-0,180077
-106,338,852	-10,567,254	-0,666312
-36,352,139	-36,241,005	-0,111134
-32,275,665	-3,225,935	-0,016315
-15,049,086	-15,041,386	-0,077
-155,465,622	-15,646,562	0,999998

-2,356,625	-24,646,265	1,080,015
-31,013,298	-31,675,077	0,661779
-29,031,525	-2,995,903	0,927505
-30,401,199	-3,084,817	0,446971
-22,785,069	-23,341,024	0,555955
-119,237,099	-11,903,444	-0,202659
-157,593,719	-15,759,373	1,1E-05
-261,549	-26,165,165	0,010265
-26,143,551	-26,295,622	0,152071
-29,829,042	-29,949,127	0,120085
-28,919,821	-2,987,275	0,952929
-32,001,385	-3,263,249	0,631105
-48,130,024	-4,753,617	-0,593854
-32,302,109	-3,211,124	-0,190869
-62,251,862	-58,353,012	-389,885
-12,665,213	-12,755,214	0,90001
-116,104,729	-11,387,478	-2,229,949
-113,804,222	-11,375,171	-0,052512
-28,060,602	-28,758,791	0,698189

## B.2 RESULTADOS ANDINO UIS Y CAMPAÑAS DE MEDIDAS.

**Tabla B.2.1 Campaña de medida barrio Bucaramanga para el sistema TDMA.**

Fecha:	21/06/2002	Barrio:	Bucaramanga
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado y Lluvia
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Segunda colina a lo largo del perfi
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	880,11MHz
Antena BS:	855DDH90E		

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>ruta 1</b>		
-78.9141	-78.53405	-80.59505
-82.3141	-94.763016	-90.985506
-72.6141	-72.573723	-73.56357
-74.4141	-79.000572	-78.38817
-68.3141	-78.954025	-78.545586
-78.5141	-91.253426	-89.779854
-78.4141	-78.685089	-80.59689
-77.7141	-79.909515	-79.26783
-75.1141	-80.17511	-79.20701
-71.9141	-80.043343	-78.50444
-79.9141	-81.627518	-79.08597

-77.6141	-77.527878	-77.53635
-79.9141	-80.604919	-79.78812
-74.0141	-80.576111	-81.53755
-70.6141	-74.354965	-75.19671
<b>ruta 2</b>		
-61.9141	-75.03833	-68.383545
-59.7141	-84.473877	-73.80032
-57.9141	-76.156563	-67.20145
-59.2141	-77.144333	-69.252846
-56.4141	-77.111542	-68.29686
-59.7141	-68.92868	-66.8227446
<b>ruta 3</b>		
-78.7141	-78.736572	-78.12795
-78.3141	-69.462852	-69.78211
-66.5141	-67.761902	-75.78731
-72.6141	-76.220001	-73.58224
-69.4141	-73.35895	-73.5548
-68.9141	-76.116554	-67.54588
-72.6141	-76.09639	-69.42759
-68.9141	-76.039108	-69.7303
-76.6141	-75.988327	-68.11734
-75.2141	-73.723755	-73.897224
-71.6141	-76.547585	-73.786865
-74.1141	-76.299789	-77.92737
-65.0141	-76.25177	-69.871124
-66.5141	-80.706543	-76.30807
-64.8141	-99.84137	-98.60525
-63.7141	-76.11673	-72.60525
-77.3141	-76.54169	-75.39716
-69.7141	-68.937515	-69.760376
-65.8141	-69.47437	-70.06895
-69.9141	-75.90065	-73.536865
-76.2141	-75.87854	-74.11274
-75.9141	-72.708954	-73.03235
-72.7141	-66.270119	-66.77777
-76.6141	-68.554756	-69.899765
-82.4141	-68.045975	-69.79345
-81.8141	-67.299377	-72.57
-75.7141	-67.2061	-67.25622
-68.6141	-74.253296	-72.97113
-67.9141	-67.02739	-65.032005
-74.6141	-66.730911	-65.62455
-63.7141	-67.626709	-67.931015
-63.6141	-81.720978	-71.783195
-63.5141	-67.552475	-71.7996
-68.8141	-71.167847	-70.08575
-83.0141	-74.939743	-73.082153
-72.0141	-71.100464	-69.08575
-66.9141	-69.651939	-66.74368

-69.7141	-75.443001	-71.397316
----------	------------	------------

**Tabla B.2.2 Campaña de medida barrio Bucaramanga para el sistema CDMA.**

Fecha:	03/05/2004	Barrio:	Bucaramanga
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Segunda colina a lo largo del perfil
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	881,525MHz
	Antena BS:	DB874G90R	

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW	MODELO ANDINO UIS CELLGIS
<b>RUTA 1</b>		
-70.19319812	-69.0875	-67.42395
-65.24558154	-68.7277	-67.4536
-64.55380908	-59.266	-59.44627
-71.89858905	-60.4783	-67.47629
-59.83765307	-59.4221	-59.6321
-56.78678027	-58.9113	-59.5776
-54.71991626	-70.2349	-67.554375
-48.06010333	-66.5995	-67.5291
-49.9152669	-67.921	-67.4812
-48.25209704	-57.85	-67.4518
-49.32334796	-67.4073	-67.71203
-46.87949267	-67.373	-62.63948
-51.35548297	-65.642	-65.84098
-46.53005114	-65.6002	-66.00964
-47.01029864	-66.972	-64.28954
-46.66408435	-66.974	-60.944027
-46.26635638	-57.5315	-58.191635
-46.23470965	-60.094	-59.506687
-45.13416186	-64.221	-66.347983
-46.52964679	-60.01	-60.59852

**Tabla B.2.3 Campaña de medida barrio Provenza para el sistema TDMA.**

Fecha:	21/06/2002	Barrio:	Provenza
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Terreno plano donde se encuentra la Estación Base
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	880,11MHz

Antena BS: 855DDH90E

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>ruta 1</b>		
-52.9141	-60.881	-57.914196
-52.3141	-61.37154	-55.082455
-50.4141	-56.065	-52.897938
-57.9141	-55.81702	-55.271385
-64.7141	-49.395	-56.563248
-59.0141	-33.66771	-38.20138
-46.2141	-34.814457	-44.852364
-43.0141	-35.41892	-34.52171
-49.7141	-47.62	-36.740944
-46.9141	-30.69978	-48.55321
-56.3141	-22.62308	-35.14322
-51.1141	-38.90679	-49.3561
-55.5141	-28.232021	-44.2453
<b>ruta 2</b>		
-63.9141	-60.5984	-57.301315
-58.4141	-59.721	-55.445545
-60.2141	-60.71648	-60.01125
-60.4141	-58.2642	-57.95536
-64.8141	-57.0187	-58.57974
-59.8141	-55.1598	-55.7099
-58.6141	-53.0878	-58.766922
-58.4141	-68.498	-66.469883
-55.7141	-55.35	-52.98176
-57.5141	-50.232	-50.448112
-57.1141	-49.934	-49.44697
-52.4141	-44.165	-45.4964
-41.4141	-48.3189	-47.36221
-42.4141	-49.4035	-49.4036
<b>ruta 3</b>		
-48.4141	-49.574	-50.946236
-54.9141	-51.478	-51.897156
-62.4141	-51.3457	-58.847496
-62.4141	-51.3457	-57.401997
-55.5141	-49.936	-52.604034
-58.2141	-49.9606	-48.47035
-56.3141	-46.138	-52.12696
-54.9141	-46.724	-44.278755
-55.7141	-46.625	-46.272606
-58.6141	-46.8305	-45.25337
-64.8141	-49.6331	-60.02427
-56.7141	-49.5804	-51.993176
-51.8141	-45.868	-44.62825
-44.9141	-46.131	-45.20544

-45.1141	-46.355	-46.651962
-46.7141	-49.2118	-47.480183
-48.7141	-46.2994	-48.01846
-53.4141	-50.521614	-48.04467

**Tabla B.2.4 Campaña de medida barrio Provenza para el sistema CDMA.**

Fecha:	21/06/2002	Barrio:	Provenza
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Terreno plano donde se encuentra la Estación Base
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	881,525MHz
	Antena BS:	DB874G90R	

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>RUTA 1</b>		
-39.32985583	-33.59106	-37.51446
-32.43189135	-36.631	-36.77513
-31.08515826	-39.2403	-39.656765
-32.2901372	-45.0071	-45.5065
-31.78864947	-46.07005	-46.34488
-36.84393206	-48.5832	-47.939163
-46.34848681	-48.1231	-49.864452
-46.22914782	-51.1163	-47.627097
-47.6245946	-52.4683	-52.469524
-46.89218799	-51.9056	-52.566532
-43.3923482	-41.3665	-45.131195
-39.20456591	-37.0576	-38.954872
-36.57156268	-35.37042	-35.256763
-36.79181567	-50.79612	-50.951263
-42.88064471	-57.7902	-56.01895
-50.4878377	-60.4288	-59.058
<b>RUTA 2</b>		
-58.82431689	-74.132	-62.63534
-65.02286425	-74.375	-73.38482
-61.67691699	-74.8279	-73.453186
-62.88441363	-75.1338	-73.26509
-65.73857013	-74.3506	-73.580795
-63.09921161	-75.3196	-73.07241
-63.54063311	-73.1189	-72.29976

**Tabla B.2.5 Campaña de medida barrio Provenza, Convergencia de Vías.**

MEDICION	MODELO ANDINO UIS	MODELO ANDINO UIS
----------	-------------------	-------------------

(dBm)	CELLVIEW (dBm)	CELLGIS (dBm)
<b>CONVERGENCIA DE VIAS PROVENZA</b>		
-48.03027	-61.093	-60.925
-54.34	-62.45	-62.6849
-44.83026	-59.917	-60.836923
-50.4083	-58.4262	-57.05846
-58.1083	-59.9552	-59.87522
-45.139	-66.7168	-66.62894
-54.6887	-68.4978	-65.31146
-68.995	-46.1426	-47.627097
-66.5683	-35.659	-39.52475
-65.9543	-49.4654	-49.23351
-65.6583	-43.6073	-44.62849
-70.8583	-72.6144	-74.6839
-78.3783	-78.7737	-77.02676
-61.9583	-58.5833	-53.328808

**Tabla B.2.6 Campaña de medida barrio San Luis y Diamante II, para el sistema TDMA.**

Fecha:	21/06/2002	Barrio:	San Luis y Diamante II
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Cañón. Puntos equidistantes de la BS.
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	880,11MHz
	Antena BS:	855DDH90E	

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>RUTA 1</b>		
-55.4341	-67.22	-66.58225
-61.4991	-63.93	-66.02731
-68.7941	-67.237	-67.11693
-64.4716	-66.487	-65.35244
-66.9266	-66.852	-66.55298
-62.6441	-75.493	-73.30509
-68.9216	-70.067	-69.98012
-66.6991	-64.361	-64.2993
-68.0391	-66.273	-67.8521
-64.7816	-64.544	-63.96117
-65.8566	-66.4789	-65.79002
-63.9441	-66.187	-66.22248

**Tabla B.2.7 Campaña de medida barrio San Luis y Diamante II, para el sistema CDMA.**

Fecha:	21/06/2002	Barrio:	San Luis y Diamante II
Precisión GPS	6 a 8m	Condición:	Soleado
Posición BS:	7°5,126' N 73°7,000' WO	Ubicación en el Perfil:	Cañón. Puntos equidistantes de la BS.
Equipo de medición:	Sistema Integrado TCI MinCom	Frecuencia CCA:	881.525MHz
	Antena BS:	DB874G90R	

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>RUTA 1</b>		
-58.69361773	-66.741	-64.69532
-63.78741351	-63.5661	-64.09846
-67.70352069	-65.8496	-65.28755
-66.80792132	-66.4325	-66.115894
-64.17482653	-65.92	-66.035468
-62.44145099	-65.912	-66.005884
-66.80482379	-65.9007	-65.317877
-63.23441211	-65.5612	-65.166623
-62.11580554	-63.083	-63.19648
<b>RUTA 2</b>		
-61.46547595	-54.3323	-57.511032
-58.438445	-54.6773	-55.93146
-55.02024737	-53.8035	-53.7155
-50.73945514	-53.4935	-53.22941
-52.24235431	-53.3147	-52.99685
-58.89025775	-53.7826	-53.032659
-58.39926806	-58.06023	-58.051563
-62.66831103	-60.6335	-60.052164

**Tabla B.2.8 Campaña de medida barrio Diamante II, Convergencia de Vías.**

MEDICION (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLVIEW (dBm)	MODELO ANDINO UIS CELLGIS (dBm)
<b>CONVERGENCIA DE VIAS DIAMANTE II</b>		
-67.2633	-48.916	-48.31002
-66.729	-44.631	-44.058613
-71.7958	-79.81	-77.912457
-61.7083	-41.09	-40.86374



-57.6966	-55.54	-55.94214
-64.7583	-47.08	-46.886774
-64.5283	-50.1979	-50.53662