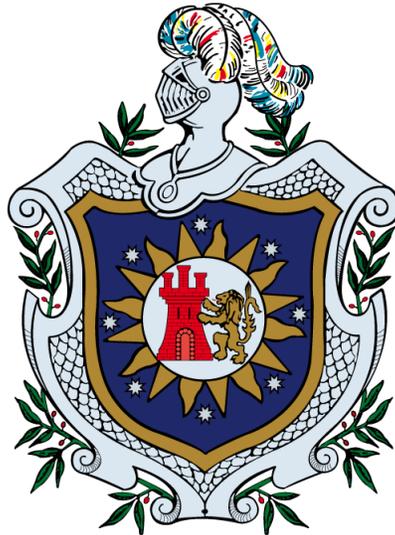


**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN – León
Facultad de Ciencias y Tecnología
Ingeniería en Telemática**



**Prácticas de laboratorio para el componente curricular:
“Tecnologías de Redes Celulares”, utilizando la herramienta
Atoll, para la carrera de Ingeniería en Telemática de la UNAN-
León.**

Agosto 2015 – Noviembre 2016.

Tesis para optar al título de Ingeniero en Telemática.

Autor(es):

Br. Martha Elizabeth Aguinaga Mora.

Br. Edwin Ernesto Fajardo Valenzuela.

Tutor: MSc. Julio César González Moreno.

León, Nicaragua
Noviembre de 2016.

**Prácticas de laboratorio para el componente curricular:
“Tecnologías de Redes Celulares”, utilizando la herramienta
Atoll, para la carrera de Ingeniería en Telemática de la UNAN-
León.**

Agosto 2015 – Noviembre 2016.

Resumen

Este trabajo monográfico tiene como finalidad la elaboración de una serie de prácticas de laboratorio para el componente de Tecnologías de Redes Celulares, correspondiente a la carrera de Ingeniería en Telemática de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-León, en las cuales se implementan las tecnologías de las redes celulares existentes hasta la fecha de realización del presente trabajo, utilizando una herramienta de planificación de redes inalámbricas conocida como Atoll. Esta herramienta nos permite diseñar, planificar y configurar elementos propios de cada tecnología de redes celulares, así como su optimización. Además, permite realizar predicciones de cobertura, de tráfico, de interferencia de la señal, etc.

Con estas prácticas de laboratorio se pretende que el estudiante lleve a la práctica los conocimientos teóricos obtenidos en clase y a su vez el docente pueda tener un apoyo o material de referencia que le facilite la impartición del componente.

Se han propuesto un total de cinco prácticas de laboratorio, de las cuales, la primera práctica tiene como objetivo que el estudiante aprenda a manipular la herramienta Atoll y conozca las características generales de las tecnologías GSM, GPRS, EDGE. Con la realización de la segunda práctica el estudiante será capaz de explicar el proceso de planificación de una red GSM y conocer los parámetros que influyen en la planificación de una red GSM. De manera homogénea, con la solución de la tercera práctica, el estudiante estará capacitado para explicar el proceso de planificación de una red, en este caso, UMTS, conocer los parámetros que influyen en dicha planificación y entender conceptos propios de la tecnología UMTS. La cuarta práctica aborda la tecnología de última generación, LTE, con la cual se pretende que el estudiante sea capaz de planificar una red LTE, entendiendo los conceptos de la tecnología y conociendo cuáles son los parámetros que intervienen en la planificación de dicha red. La última práctica trata sobre la tecnología de acceso de banda ancha inalámbrica WiMax. Al resolver esta práctica el estudiante estará capacitado para planificar una red WiMax y explicar las principales características que influyen en dicha planificación.

Dedicatoria(s)

Al dador de la vida, mi amado Señor Jesucristo por su misericordia al permitirme finalizar mis estudios.

A mi familia, especialmente a mi madrecita por su incondicional apoyo.

Martha Elizabeth Aguinaga.

A los autores del proyecto de becas de sanjulianenses, del cual fui beneficiario: A Gabriel Serrano, MSc. Alberto Cerda Campos, Lic. José Noé Cea, y a todos los que se unieron en el sentimiento visionario de contribuir con ello al desarrollo de las familias más desprotegidas de mi pueblo.

A mi familia, maestros, compañeros y amigos que me acompañaron en cada momento de la realización de mi carrera.

Al pueblo sanjulianense, que a pesar de los problemas sociales históricos, ha formado personas de bien para la sociedad.

Edwin Fajardo.

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por darme la sabiduría y las fuerzas necesarias para no rendirme en el camino y seguir luchando hasta llegar a la meta, finalizar mis estudios universitarios con este trabajo monográfico, puesto que sin ÉL nunca lo hubiese logrado.

A mi bella madre por enseñarme a luchar por lo que quiero y por ser la persona que siempre estuvo ahí, pendiente de mi bienestar tanto físico como emocional para llevar a cabo mis estudios, por animarme en los momentos difíciles y por ser la mejor madre del mundo.

A mis hermanos, tías y abuelita por su cariño y atenciones, que han sido fundamental en mi preparación académica.

A nuestro tutor, MSc. Julio César González Moreno por su excelente asesoría y por brindarnos los conocimientos necesarios para el desarrollo de este trabajo.

Martha Elizabeth Aguinaga.

Agradecimientos

A la municipalidad de San Julián (2010-2015), por haber sido artífices del proyecto de becas del cual fui parte, en el marco de un trabajo integral enfocado a la promoción humana y el desarrollo de la niñez, adolescencia y juventud de mi pueblo. En especial, a Gabriel Omón Serrano Hernández; su papel es significativo en la transformación de una sociedad, y lo seguirá siendo a través de los tiempos.

A la Cancillería de la República de El Salvador y al Viceministro de Relaciones Exteriores Carlos Castaneda, por su esmerado acompañamiento en el proceso, resolviendo nuestros problemas de carácter migratorio siempre que hemos acudido.

A la Embajada de El Salvador en Nicaragua, y al Consulado de El Salvador en Managua y en Chinandega (este último hasta 2014), por estar siempre pendiente de nosotros, y por ser facilitadores de los procesos legales de nuestra estada en Nicaragua

Al Licenciado José Noé Cea Artiga y familia, por haberme acogido como parte, y por haberme acompañado integralmente en cada momento durante toda mi carrera, constituyéndose mi base social en Nicaragua.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, por haberme recibido, con espíritu centroamericanista, como parte de un convenio de becas, en las mismas condiciones que a los nacionales (nicaragüenses). En especial, al Licenciado Felipe Martínez y al MSc. Alberto Cerda Campos.

A mis maestros en la carrera Ingeniería en Telemática en general, por su labor magistral y evidentemente trascendental en la formación de profesionales de calidad; y al MSc. Julio González en particular, cuyo aporte a la realización de este trabajo monográfico es ostensible en sus propuestas acertadas para cada paso del proceso.

A mis compañeros de clases, en especial, a Elizabeth Aguinaga, con quien siempre hemos formado un buen equipo a lo largo de toda la carrera.

Al pueblo nicaragüense, gente cálida que me ha dotado de muy buenos amigos que me han ayudado a ver la vida desde una perspectiva distinta.

A mi familia: Mi abuela, mi madre y mis hermanos, quienes me han acompañado en cada momento, con esfuerzo y dedicación, en la esperanza de verme graduado en una carrera profesional.

Edwin Ernesto Fajardo.

Índice general

INTRODUCCIÓN	17
ANTECEDENTES	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
JUSTIFICACIÓN	24
OBJETIVOS	26
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
MARCO TEÓRICO	27
CONCEPTOS GENERALES	27
<i>El espectro radioeléctrico</i>	27
<i>Unidades de medida de radiofrecuencia</i>	27
SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR.....	28
LA RED CENTRAL.....	28
<i>Elementos de la red central</i>	28
MSC (Mobile Switching Center)	28
Conmutación en la red de datos (SGSN y GGSN)	29
<i>Bases de datos para el control de suscriptores</i>	29
HLR (Home Location Register)	29
VLR (Visitors Location Register)	29
AUC (Authentication Center)	29
LA RED CELULAR O RED DE ACCESO RADIO	30
<i>Estación Base</i>	30
<i>Célula (celda)</i>	30
Forma de las celdas	30
Clasificación de las celdas	31
Sectorización de celdas.....	31
<i>Móviles (estaciones móviles)</i>	32
PLANIFICACIÓN DE UNA RED CELULAR	32
<i>El proceso de planificación</i>	32
Planificación inicial (Dimensionamiento de la red)	33
Planificación detallada.....	33
Optimización.....	33
<i>Predicciones</i>	33
Predicciones de cobertura.....	34
Predicciones de tráfico	34
Predicciones de interferencia	34
<i>Simulaciones</i>	35
EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE REDES CELULARES	35
<i>Primera Generación 1G</i>	35
AMPS (Advanced Mobile Phone System)	36
NMT (Nordisk Mobil Telefoni).....	36
TACS (Total Access Communication System)	36
<i>Segunda Generación 2G</i>	36
GSM (Global System for Mobile Communications)	37
GPRS (General Packet Radio Service).....	37
EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).....	38
Canales lógicos en GSM.....	39

Arquitectura de una red 2G	39
<i>Tercera generación 3G</i>	40
UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).....	40
HSPA (High-Speed Packet Access).....	41
Arquitectura de una red 3G	41
<i>Cuarta generación 4G</i>	42
LTE (Long Term Evolution)	42
LTE-A (LTE Advanced)	43
Arquitectura de una red 4G	44
<i>Quinta generación 5G (El futuro inmediato)</i>	44
<i>Otras tecnologías de redes celulares</i>	45
WIMAX	45
<i>Redes Multi-RAT</i>	46
TÉCNICAS DE CONTROL DE ACCESO A LA INTERFAZ RADIO	47
<i>Técnicas de duplexación</i>	47
FDD (Frequency Division Duplexing)	48
TDD (Time Division Duplexing)	48
<i>Técnicas de multiplexación</i>	49
FDM (Frequency Division Multiplexing).....	49
TDM (Time Division Multiplexing).....	49
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	49
<i>Técnicas de acceso múltiple</i>	50
FDMA (Frequency Division Multiple Access).....	50
TDMA (Time Division Multiple Access).....	50
OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	50
SC-FDMA (Single Carrier FDMA).....	52
MIMO (Múltiple-input Multiple-output).....	52
CDMA (Code Division Multiple Access).....	53
CDMA2000.....	53
<i>Técnicas de control de interferencias</i>	54
Interferencia intercelular.....	54
FFR (Fractional Frequency Reuse)	54
ICIC (Inter-Cell Interference Coordination)	54
MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS.....	55
<i>Modelo Okumura-Hata</i>	55
<i>Modelo Cost-Hata</i>	56
<i>Modelo Walfish-Ikegami</i>	56
<i>Modelo Ray Tracing</i>	56
GESTIÓN DE LA MOVILIDAD DEL USUARIO.....	56
<i>Itinerancia (Roaming)</i>	56
<i>Traspaso (Handover)</i>	56
ENTES REGULADORES DE LAS TELECOMUNICACIONES.....	57
<i>Entes internacionales</i>	57
UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).....	57
3GPP (Third Generation Partnership Project)	57
ETSI (European Telecommunications Standard Institute).....	58
IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers)	58
<i>Entes nacionales</i>	58
TELCOR.....	58
HERRAMIENTAS A UTILIZAR PARA EL DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	59
<i>Herramientas GIS (Geographic Information System)</i>	59
<i>Herramientas RNP (Radio Network Planning)</i>	60
HERRAMIENTA GIS GLOBAL MAPPER.....	60

<i>Concepto</i>	60
<i>Licencia de Global Mapper</i>	60
HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN ATOLL.....	61
<i>Concepto</i>	61
<i>Características</i>	61
<i>Tecnologías soportadas por Atoll</i>	62
<i>Requerimientos</i>	62
<i>Licencia de Atoll</i>	63
<i>Estructura del programa</i>	63
<i>Barras de herramientas de Atoll</i>	64
Barra de herramientas Map.....	64
Barra de herramientas Radio Planning.....	64
<i>Panel de exploración</i>	64
Explorador de información geográfica (Geo Explorer)	65
Explorador de red (Network Explorer)	66
Explorador de parámetros (Parameters Explorer).....	66
Visor de eventos (Events Viewer)	68
<i>Tablas principales</i>	68
Tabla de emplazamientos (Sites Table)	68
Tabla de transmisores (Transmitters Table).....	68
Tabla de celdas (Cells Table).....	69
Tabla de bandas frecuencias (Frequency Bands).....	69
<i>Zona de trabajo (Ventana de mapas)</i>	70
<i>Otras utilidades</i>	70
AFP (Automatic Frequency Planning)	70
<i>Información adicional</i>	70
Uso que Atoll hace de los mapas	70
DISEÑO METODOLÓGICO.....	71
TIPO DE INVESTIGACIÓN	71
PRÁCTICAS DE LABORATORIO DIRIGIDAS A:	71
ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	71
<i>Estudio del arte</i>	71
<i>Selección de la Información</i>	72
<i>Búsqueda de herramientas</i>	72
<i>Desarrollo de las prácticas</i>	72
PRÁCTICAS DE LABORATORIO PROPUESTAS.....	72
<i>Formato de las prácticas</i>	72
<i>Carga horaria</i>	73
<i>Práctica de laboratorio 1 – Características Generales de planificación en Atoll</i>	74
Ejercicio 0: Partiendo de una base de datos Multi-RAT	75
Ejercicio 1: Importar mapas.....	78
Ejercicio 2: Crear mapas con Global Mapper	79
Ejercicio 3: Usar mapas Online	85
Ejercicio 4: Creando una nueva estación.	88
Ejercicio 5: Creando una zona de cálculo.	90
Ejercicio 6: Predicciones.	92
<i>Práctica de laboratorio 2 – Planificación de una red GSM</i>	100
Ejercicio 0: Elaboración de mapas DTM y carretera.....	102
Ejercicio 1: Creando un nuevo proyecto en Atoll.....	103
Ejercicio 2: Definiendo rangos frecuencias.....	105
Ejercicio 3: Definiendo tipos de movilidad.	106
Ejercicio 4: Uso de capas HCS.	107

Ejercicio 5: Configurando servicios.....	107
Ejercicio 6: Introduciendo datos de los terminales	108
Ejercicio 7: Configurando perfiles de usuario.	108
Ejercicio 8: Definiendo entornos.....	109
Ejercicio 9: Configurando plantillas de estaciones base.....	110
Ejercicio 10: Definiendo mapas de tráfico.	111
Ejercicio 11: Creando un plan automático de estaciones base.	113
Ejercicio 12: Definiendo parámetros para cálculo de la relación Señal/Interferencia.	115
Ejercicio 13: Predicciones.	115
Ejercicio 14: Simulación de usuarios.....	117
Actividades para el estudiante.....	118
Práctica de laboratorio 3 – Planificación de una red UMTS.....	120
Ejercicio 0: Importación de Mapas	122
Ejercicio 1: Primer diseño hexagonal:	123
Ejercicio 2: Configuración de Frecuencias:	123
Ejercicio 3: Configuración de los servicios UMTS.	124
Ejercicio 4: Configuración de perfiles de Usuario:	125
Ejercicio 5: Configuración de tipos de movilidad:	126
Ejercicio 6: Configuración de entornos:	126
Ejercicio 7: Configuración de plantilla de estación base:.....	126
Ejercicio 8: Modelo de propagación:.....	127
Ejercicio 9: Configuración de antenas:	127
Ejercicio 10: Planificación del despliegue.....	129
Ejercicio 11: Configuración de mapas de tráfico:	130
Actividades para el estudiante:.....	133
Práctica de laboratorio 4 – Planificación de una red LTE	136
Ejercicio 0: Creación del escenario de la práctica.	137
Ejercicio 1: Añadiendo un mapa de uso de terreno.....	139
Ejercicio 2: Modelo de propagación según uso de terreno.....	140
Ejercicio 3: Configuración de plantillas.	140
Ejercicio 4: Creando un plan automático de estaciones base.	144
Ejercicio 5: Predicciones	145
Ejercicio 6: Mapa de tráfico	151
Ejercicio 7: Simulaciones.....	153
Ejercicio 8: Análisis de impacto de reutilización de frecuencias y estrategias ICIC.....	154
Ejercicio 9: Análisis de impacto MIMO	159
Ejercicio 10: Exportando el mapa a Google Earth.....	160
Actividades para el estudiante.....	162
Práctica de laboratorio 5 – Planificación de una red WiMAX.....	163
Ejercicio 0: Creación e importación de Mapas.	164
Ejercicio 1: Configuración de Frecuencias.	166
Ejercicio 2: Configuraciones de estaciones base.	167
Ejercicio 3: Configuración de Servicios:	168
Ejercicio 4: Configuración de perfiles de Usuario:	171
Ejercicio 5: Configuración de Entornos:.....	172
Ejercicio 6: Estudios de cobertura o predicciones:	173
Ejercicio 7: Configuración de mapas de tráfico.	178
Ejercicio 8: Configuración de las propiedades de los entornos.	182
Ejercicio 9: Simulaciones:.....	184
Actividades para el estudiante.....	185
CONCLUSIONES.....	186
RECOMENDACIONES	187
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189
ACRÓNIMOS	194

ANEXOS..... 197

ANEXO 1: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 197

ANEXO 2: INSTALACIÓN DE ATOLL..... 198

ANEXO 3: INSTALACIÓN DE GLOBAL MAPPER..... 207

Índice de ilustraciones¹

ILUSTRACIÓN 1 - MAYA CURRICULAR DE INGENIERÍA EN TELEMÁTICA	22
ILUSTRACIÓN 2 - CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS POR TAMAÑO	31
ILUSTRACIÓN 3 - SECTORIZACIÓN DE CELDAS	32
ILUSTRACIÓN 4 - ARQUITECTURA DE UNA RED GSM (2G)	39
ILUSTRACIÓN 5 - ARQUITECTURA DE UNA RED UMTS (3G)	41
ILUSTRACIÓN 6 - ARQUITECTURA DE UNA RED LTE (4G)	44
ILUSTRACIÓN 7 - SINGLE RADIO CONTROLLER EN UNA RED MULTI-RAT	47
ILUSTRACIÓN 8 - ENLACE DE BAJADA (DOWNLINK) Y ENLACE DE SUBIDA (UPLINK)	47
ILUSTRACIÓN 9 - COMPARACIÓN ENTRE FDD Y TDD	48
ILUSTRACIÓN 10 - DIFERENCIA ENTRE FDM Y OFDM	50
ILUSTRACIÓN 11 - DIFERENCIA ENTRE OFDM Y OFDMA	51
ILUSTRACIÓN 12 - DIFERENCIA ENTRE OFDMA Y SC-FDMA	51
ILUSTRACIÓN 13 - ESQUEMA DE UN SISTEMA MIMO GENÉRICO CON M TRANSMISORES Y N RECEPTORES	52
ILUSTRACIÓN 14 - COMPARACIÓN ENTRE FFR E ICIC	55
ILUSTRACIÓN 15 - ESTRUCTURA VISUAL DE ATOLL	63
ILUSTRACIÓN 16 - BARRA DE HERRAMIENTAS MAP EN ATOLL	64
ILUSTRACIÓN 17 - BARRA DE HERRAMIENTAS RADIO PLANNING EN ATOLL	64
ILUSTRACIÓN 18 - EXPLORADOR DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GEO EXPLORER) EN ATOLL	65
ILUSTRACIÓN 19 - PANEL DE EXPLORACIÓN DE RED EN ATOLL	66
ILUSTRACIÓN 20 - PANEL DE EXPLORACIÓN DE PARÁMETROS EN ATOLL	66
ILUSTRACIÓN 21 - PARÁMETROS DE TRÁFICO EN ATOLL	66
ILUSTRACIÓN 22 - CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LA RED DE RADIO EN ATOLL	67
ILUSTRACIÓN 23 - VISOR DE EVENTOS EN ATOLL	68
ILUSTRACIÓN 24 - TABLA DE EMPLAZAMIENTOS (SITES) EN ATOLL	68
ILUSTRACIÓN 25 - TABLA DE TRANSMISORES (TRANSMITTERS) EN ATOLL	69
ILUSTRACIÓN 26 - TABLA DE CELDAS EN ATOLL	69
ILUSTRACIÓN 27 - TABLA DE FRECUENCIAS EN ATOLL	69
ILUSTRACIÓN 28 - CUADRO DE DIÁLOGO DATA TO LOAD	75
ILUSTRACIÓN 29 - CUADRO DE DIÁLOGO DE SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS 3GPP MULTI-RAT	75
ILUSTRACIÓN 30 - EMPLAZAMIENTOS CARGADOS DESDE LA BASE DE DATOS	76
ILUSTRACIÓN 31 - ESCALADO DE 1:25,000 DESDE LA HERRAMIENTA SCALER	76
ILUSTRACIÓN 32 - CUADRO DE DIÁLOGO DE PROPIEDADES DE LOS TRANSMISORES GSM	76
ILUSTRACIÓN 33 - CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CONFIGURACIÓN VISUAL DE LOS TRANSMISORES	77
ILUSTRACIÓN 34 - MULTIRAT CON TRANSMISORES DE DIFERENTES COLORES Y TAMAÑOS SEGÚN TECNOLOGÍA ..	77
ILUSTRACIÓN 35 - CUADRO DE DIÁLOGO DE IMPORTACIÓN DE MAPAS EN ATOLL	78
ILUSTRACIÓN 36 - RESULTADO DE LA CARGA DE MAPAS (MAPA TERRESTRE)	79
ILUSTRACIÓN 37 - OPCIONES DE LA VENTANA PRINCIPAL DE GLOBAL MAPPER	79
ILUSTRACIÓN 38 - SELECCIÓN DEL TIPO DE MAPA EN GLOBAL MAPPER	80
ILUSTRACIÓN 39 - SELECCIÓN DE UNA FUENTE DE CARGA DE MAPAS EN GLOBAL MAPPER	80
ILUSTRACIÓN 40 - SELECCIÓN DE ÁREA DEL MAPA EN GLOBAL MAPPER	81
ILUSTRACIÓN 41 - SELECCIÓN DEL FORMATO DE EXPORTACIÓN DEL MAPA	81
ILUSTRACIÓN 42 - CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE MAPA A EXPORTAR EN GLOBAL MAPPER	82
ILUSTRACIÓN 43 - CONFIGURACIÓN DEL ÁREA A EXPORTAR EN GLOBAL MAPPER	82
ILUSTRACIÓN 44 - SELECCIÓN DEL TIPO IMAGERY EN GLOBAL MAPPER	83
ILUSTRACIÓN 45 - SELECCIÓN DE LA FUENTE WORLD IMAGERY	83
ILUSTRACIÓN 46 - VISTA DEL MAPA IMAGERY DESCARGADO	83

¹ Las ilustraciones en este documento son capturas de pantalla de los programas utilizados para las prácticas de laboratorio; excepto aquellas que incluyan información sobre su origen.

ILUSTRACIÓN 47 - SELECCIÓN DEL TIPO TERRAIN DATA EN GLOBAL MAPPER.....	84
ILUSTRACIÓN 48 - SELECCIÓN DE LA FUENTE ASTER GDEM V2 WORLDWIDE ELEVATION DATA.....	84
ILUSTRACIÓN 49 - VISTA DE UN MAPA DTM EN GLOBAL MAPPER.....	84
ILUSTRACIÓN 50 - CUADRO DE DIÁLOGO DE SELECCIÓN DE PLANTILLA EN ATOLL.....	85
ILUSTRACIÓN 51 - DEFINIENDO COORDENADAS DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	85
ILUSTRACIÓN 52 - SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN NAD PANAMA.....	86
ILUSTRACIÓN 53 - COORDENADAS DEL PROYECTO UNA VEZ ELEGIDA LA UBICACIÓN.....	86
ILUSTRACIÓN 54 - ELIGIENDO UN SERVIDOR DE MAPAS EN LÍNEA.....	87
ILUSTRACIÓN 55 - ACTIVANDO LA VISIBILIDAD DEL MAPA EN LÍNEA.....	87
ILUSTRACIÓN 56 - SELECCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO EN EL MAPA EN LÍNEA.....	88
ILUSTRACIÓN 57 - SELECCIÓN DE LA PLANTILLA GSM URBAN 900.....	88
ILUSTRACIÓN 58 - ESTACIÓN BASE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE LEÓN.....	89
ILUSTRACIÓN 59 – PROPIEDADES GENERALES DEL EMPLAZAMIENTO SITE0.....	89
ILUSTRACIÓN 60 - PROPIEDADES DE SOPORTE DE LA ESTACIÓN BASE EN SITE0.....	90
ILUSTRACIÓN 61 - EMPLAZAMIENTO EN EL CENTRO DE LEÓN. TRANSMISORES CLASIFICADOS POR COLORES.....	90
ILUSTRACIÓN 62 - ZONA DE CÁLCULO PARA EL PROYECTO MULTI-RAT.....	91
ILUSTRACIÓN 63 - IMPORTACIÓN DE UNA ZONA DE CÁLCULO AL PROYECTO MULTI-RAT.....	91
ILUSTRACIÓN 64 - SELECCIÓN DE VISUALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE LA VISUALIZACIÓN DE TRANSMISORES.....	92
ILUSTRACIÓN 65 - AGRUPACIÓN DE TRANSMISORES GSM POR BANDA DE FRECUENCIA.....	92
ILUSTRACIÓN 66 - ASIGNACIÓN DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN PARA LOS TRANSMISORES GSM 900.....	93
ILUSTRACIÓN 67 - TIPOS DE PREDICCIONES ESTÁNDARES PARA GSM.....	93
ILUSTRACIÓN 68 - PROPIEDADES DE PREDICCIÓN POR NIVEL DE SEÑAL GSM.....	94
ILUSTRACIÓN 69 - CONFIGURACIÓN DE COLORES PARA LA PREDICCIÓN.....	94
ILUSTRACIÓN 70 - COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL.....	95
ILUSTRACIÓN 71 - SELECCIÓN DE COLUMNAS PARA EL INFORME DE LA PREDICCIÓN.....	95
ILUSTRACIÓN 72 - REPORTE DE COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL.....	96
ILUSTRACIÓN 73 - PROPIEDADES DE PREDICCIÓN DE COBERTURA POR TRANSMISOR.....	96
ILUSTRACIÓN 74 - PREDICCIÓN DE COBERTURA POR TRANSMISOR.....	97
ILUSTRACIÓN 75 - COBERTURA POR TRANSMISOR CON MARGEN DE 4DB.....	97
ILUSTRACIÓN 76 - PREDICCIÓN POR TRANSMISOR CON MARGEN DE 4DB.....	98
ILUSTRACIÓN 77 - HERRAMIENTA POINT ANALYSIS.....	98
ILUSTRACIÓN 78 - PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE POINT ANALYSIS.....	98
ILUSTRACIÓN 79 - PREDICCIÓN POR NIVEL DE SEÑAL A 40M DE ALTURA.....	99
ILUSTRACIÓN 80 - CONFIGURACIÓN DE ALTURA DE LOS TRANSMISORES.....	99
ILUSTRACIÓN 81 - SELECCIÓN DE LA FUENTE EN GLOBAL MAPPER.....	102
ILUSTRACIÓN 82 - CONFIGURACIÓN DEL CAMPO SAMPLE SPACING EN GLOBAL MAPPER.....	103
ILUSTRACIÓN 83 - SELECCIÓN DE LA FUENTE ASTER GDEM V2 WORLDWIDE ELEVATION DATA.....	103
ILUSTRACIÓN 84 - SELECCIONANDO PLANTILLA GSM GPRS EDGE EN ATOLL.....	103
ILUSTRACIÓN 85 - IMPORTACIÓN DE UN MAPA DTM EN ATOLL.....	104
ILUSTRACIÓN 86 - INPORTACIÓN DE UN MAPA SCAN EN ATOLL.....	104
ILUSTRACIÓN 87 - DESACTIVANDO LA VISUALIZACIÓN DE DTM.....	105
ILUSTRACIÓN 88 - AGREGANDO DOS BANDAS DE FRECUENCIA GSM.....	105
ILUSTRACIÓN 89 - CREACIÓN DE DOMINIOS PARA LAS BANDAS DE FRECUENCIA AGREGADAS.....	106
ILUSTRACIÓN 90 - CREACIÓN DE GRUPOS DE BANDAS DE FRECUENCIAS.....	106
ILUSTRACIÓN 91 - AGREGANDO EL TIPO DE MOVILIDAD 10KM/H.....	107
ILUSTRACIÓN 92 - PRIORIDAD DE LAS CAPAS HCS EN GSM.....	107
ILUSTRACIÓN 93 - CONFIGURACIÓN DE SERVICIOS PARA GSM.....	108
ILUSTRACIÓN 94 - CONFIGURACIÓN DE UN TERMINAL DE 800MHZ PARA GSM.....	108
ILUSTRACIÓN 95 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL BUSSINESS USER PARA GSM.....	109
ILUSTRACIÓN 96 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL STANDARD USERS PARA GSM.....	109
ILUSTRACIÓN 97 - CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO CARRETERA PARA GSM.....	110

ILUSTRACIÓN 98 - CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO RURAL PARA GSM.....	110
ILUSTRACIÓN 99 - CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO SUBURBAN PARA GSM	110
ILUSTRACIÓN 100 - CONFIGURACIÓN DEL ENTORNO URBAN PARA GSM	110
ILUSTRACIÓN 101 - CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA GSM 900 SUBURBAN GSM.....	111
ILUSTRACIÓN 102 - CREANDO UN MAPA DE TRÁFICO PARA GSM	112
ILUSTRACIÓN 103 - EDITOR DE MAPA DE TRÁFICO EN ATOLL.....	112
ILUSTRACIÓN 104 - VISTA GENERAL DE MAPAS DE TRÁFICO PARA ESCENARIO GSM	112
ILUSTRACIÓN 105 - ELECCIÓN DE LA PLANTILLA GSM 900 URBAN EN LA BARRA RADIO PLANNING.....	113
ILUSTRACIÓN 106 - DESPLIEGUE HEXAGONAL PARA ESCENARIO GSM	113
ILUSTRACIÓN 107 - CONFIGURACIÓN POR DEFECTO DE BANDAS POR TRANSMISOR EN ATOLL	114
ILUSTRACIÓN 108 - FILTRADO DE TRANSMISORES BCCH.....	114
ILUSTRACIÓN 109 - ASIGNACIÓN DE CANALES A LOS TRANSMISORES GSM	115
ILUSTRACIÓN 110 - VISTA GENERAL DEL MAPA ANTES DE LAS PREDICCIONES GSM	116
ILUSTRACIÓN 111 - ZONA DE CÁLCULO PARA GSM.....	116
ILUSTRACIÓN 112 - CREANDO GRUPO DE DIEZ SIMULACIONES PARA GSM	117
ILUSTRACIÓN 113 -CONFIGURANDO CARGA DE LAS SIMULACIONES GSM.....	117
ILUSTRACIÓN 114 -CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIO BUSSINES USER EN GSM.....	118
ILUSTRACIÓN 115 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIO STANDARD USER EN GSM.....	119
ILUSTRACIÓN 116 - MAPA DE CARRETERAS PARA ESCENARIO UMTS.....	122
ILUSTRACIÓN 117 - MAPA DE ALTIMETRÍAS PARA ESCENARIO UMTS	122
ILUSTRACIÓN 118 - PRIMER DISEÑO HEXAGONAL PARA ESCENARIO UMTS	123
ILUSTRACIÓN 119 - CONFIGURACIÓN DE LA BANDA DE FRECUENCIAS PARA LA PLANTILLA URBAN (3 SECTORS) .	124
ILUSTRACIÓN 120 - CONFIGURACIÓN DE RADIO HEXAGONAL PARA LA PLANTILLA URBAN (3 SECTORS) UMTS...	127
ILUSTRACIÓN 121 - PATRÓN DE RADIACIÓN HORIZONTAL DE LA ANTENA 2100MHZ 65DEG 18DBI 2TILT	128
ILUSTRACIÓN 122 - PATRÓN DE RADIACIÓN VERTICAL DE LA ANTENA 2100MHZ 65DEG 18DBI 2TILT.....	128
ILUSTRACIÓN 123 - PATRÓN DE RADIACIÓN HORIZONTAL DE LA ANTENA 2100MHZ 65DEG 18DBI 4TILT	129
ILUSTRACIÓN 124 - PATRÓN DE RADIACIÓN VERTICAL DE LA ANTENA 2100MHZ 65DEG 18DBI 4TILT.....	129
ILUSTRACIÓN 125 - PLANIFICACIÓN DE DESPLIEGUE DE LA RED UMTS	130
ILUSTRACIÓN 126 - DESPLIEGUE HEXAGONAL UMTS DE UNA PORTADORA.....	130
ILUSTRACIÓN 127 - R99 RADIO BEARER PARA EL SERVICIO MOBILE INTERNET ACCESS EN UMTS	131
ILUSTRACIÓN 128 - ASOCIANDO MOVILIDAD A R99 RADIO BEARER EN UMTS	131
ILUSTRACIÓN 129 - SIMULACIÓN DE USUARIOS EN ESCENARIO UMTS	132
ILUSTRACIÓN 130 - ESTADÍSTICAS DE SIMULACIÓN DE USUARIOS UMTS.....	133
ILUSTRACIÓN 131 - CONFIGURACIÓN DE NÚMERO DE PUERTOS UMTS	134
ILUSTRACIÓN 132 - CONFIGURACIÓN POR DEFECTO DE MAPA EN LÍNEA OPENSTREETMAP	138
ILUSTRACIÓN 133 - CONFIGURACIÓN DE LAS COORDENADAS DEL MAPA DE CARRETERAS.....	138
ILUSTRACIÓN 134 – ALTURAS Y CÓDIGO DE COLOR POR USO DE TERRENO LTE	139
ILUSTRACIÓN 135 - MAPA DE USOS DE TERRENO PARA ESCENARIO LTE	140
ILUSTRACIÓN 136 - FÓRMULA DE PROPAGACIÓN SEGÚN USOS DE TERRENO LTE	140
ILUSTRACIÓN 137 - COPIA DE PLANTILLA 10MHZ FDD URBAN Y SUBURBAN PARA ESCENARIO LTE.....	141
ILUSTRACIÓN 138 - CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA SUBURBAN PARA ESCENARIO LTE.....	141
ILUSTRACIÓN 139 - CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS LTE PARA LA PLANTILLA SUBURBAN (3 SECTORS)	142
ILUSTRACIÓN 140 - CONFIGURACIÓN DE LA PLANTILLA URBAN PARA ESCENARIO LTE.....	143
ILUSTRACIÓN 141 - CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS LTE PARA LA PLANTILLA URBAN (3 SECTORS)	143
ILUSTRACIÓN 142 - SELECCIÓN DE MODELO DE PROPAGACIÓN PARA ESCENARIO LTE.....	144
ILUSTRACIÓN 143 - DESPLIEGUE HEXAGONAL LTE EN MANAGUA	144
ILUSTRACIÓN 144 - VISTA DE EMPLAZAMIENTOS LTE MANAGUA.....	145
ILUSTRACIÓN 145 - ZONA DE CÁLCULO PARA ESCENARIO LTE.....	145
ILUSTRACIÓN 146 - SELECCIÓN DE BANDA PARA PREDICCIÓN POR NIVEL DE SEÑAL LTE	146
ILUSTRACIÓN 147 - PREDICCIÓN DE COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL LTE	146
ILUSTRACIÓN 148 - HISTOGRAMA DE PREDICCIÓN POR NIVEL DE SEÑAL LTE.....	146

ILUSTRACIÓN 149 - EDICIÓN DE PROPIEDADES DE TRANSMISORES LTE	147
ILUSTRACIÓN 150 - PREDICCIÓN DE COBERTURA POR TRANSMISOR LTE	147
ILUSTRACIÓN 151 - PREDICCIÓN DE ZONAS DE SOLAPAMIENTO LTE	148
ILUSTRACIÓN 152 - HISTOGRAMA DE ZONAS DE SOLAPAMIENTO LTE	148
ILUSTRACIÓN 153 - PARÁMETROS PARA PREDICCIÓN DE ANÁLISIS EFECTIVO DE LA SEÑAL LTE	149
ILUSTRACIÓN 154 - ANÁLISIS EFECTIVO DE LA SEÑAL EN EL ENLACE DESCENDENTE LTE	149
ILUSTRACIÓN 155 - ANÁLISIS EFECTIVO DE LA SEÑAL EN EL ENLACE ASCENDENTE LTE	150
ILUSTRACIÓN 156 - CALIDAD DE LA SEÑAL EN EL ENLACE DESCENDENTE LTE	150
ILUSTRACIÓN 157 - CALIDAD DE LA SEÑAL EN EL ENLACE ASCENDENTE LTE	151
ILUSTRACIÓN 158 - CREACIÓN DE MAPA DE TRÁFICO PARTIENDO DE CLUTTER CLASSES	152
ILUSTRACIÓN 159 - ENTORNOS DEL MAPA DE TRÁFICO SEGÚN USOS DE TERRENO LTE	152
ILUSTRACIÓN 160 - CREANDO GRUPO DE SIMULACIONES LTE	153
ILUSTRACIÓN 161 - CONFIGURACIÓN DE CARGA DE TRÁFICO EN SIMULACIONES LTE	153
ILUSTRACIÓN 162 - SIMULACIÓN DE USUARIOS PARA ESCENARIO LTE	154
ILUSTRACIÓN 163 - PARÁMETROS PARA LAS PREDICCIONES POR RENDIMIENTO LTE	155
ILUSTRACIÓN 164 - PROPIEDADES DE LA BANDA DE FRECUENCIAS E-UTRA BAND 1	155
ILUSTRACIÓN 165 - UBICACIÓN DE CANALES EN LA TABLA DE CELDAS CON LA HERRAMIENTA REEMPLAZAR.....	156
ILUSTRACIÓN 166 - RESULTADOS DE UBICACIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS EN LA TABLA DE CELDAS	156
ILUSTRACIÓN 167 - ACTIVACIÓN DE ICIC EN LA TABLA DE CELDAS LTE.....	156
ILUSTRACIÓN 168 - EDICIÓN DE ÚLTIMO CANAL DE LA BANDA E-UTRA BAND 1	157
ILUSTRACIÓN 169 - CONFIGURACIÓN DE UBICACIÓN AUTOMÁTICA DE RECURSOS.....	158
ILUSTRACIÓN 170 - RESULTADO DE LA UBICACIÓN AUTOMÁTICA DE FRECUENCIAS.....	158
ILUSTRACIÓN 171 - CONFIGURACIÓN DE COMPARACIÓN DE PREDICCIONES	159
ILUSTRACIÓN 172 - CONFIGURACIÓN DE LA CARGA DE TRÁFICO (TRAFFIC LOAD) EN LA TABLA DE CELDAS	159
ILUSTRACIÓN 173 - NÚMERO DE PUERTOS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN PARA LOS TRANSMISORES LTE	160
ILUSTRACIÓN 174 - ASIGNACIÓN DE SOPORTE DE DIVERSIDAD EN LA TABLA DE CELDAS LTE.....	160
ILUSTRACIÓN 175 - EXPORTANDO INFORMACIÓN AN GOOGLE EARTH	160
ILUSTRACIÓN 176 - PREDICCIONES POR TRANSMISOR VISTO DESDE GOOGLE EARTH.....	161
ILUSTRACIÓN 177 - COBERTURA DE UNA ESTACIÓN BASE VISTA DESDE GOOGLE EARTH.....	161
ILUSTRACIÓN 178 - MAPA DE CARRETERAS DE LA CIUDAD DE LEÓN	165
ILUSTRACIÓN 179 - MAPA DE ALTIMETRÍA DE LA CIUDAD DE LEÓN.....	165
ILUSTRACIÓN 180 - CUADRO DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TELCOR	166
ILUSTRACIÓN 181 - ATRIBUCIÓN DE LA BANDA 4400 - 5000MHZ SEGÚN TELCOR	167
ILUSTRACIÓN 182 - COPIA DE LA PLANTILLA 5MHZ - DENSE URBAN DE TRES SECTORES	168
ILUSTRACIÓN 183 - CONFIGURACIÓN DEL SERVICIO FTP PARA WiMAX	169
ILUSTRACIÓN 184 - CONFIGURACIÓN DEL SERVICIO WEB BROWSING PARA WiMAX	170
ILUSTRACIÓN 185 - CONFIGURACIÓN DEL SERVICIO VOIP PARA WiMAX.....	170
ILUSTRACIÓN 186 - CREANDO EL PERFIL DE USUARIOS ESTUDIANTES.....	171
ILUSTRACIÓN 187 - CREANDO EL PERFIL DE USUARIOS DOCENTES.....	171
ILUSTRACIÓN 188 - CREANDO EL PERFIL DE USUARIO PERSONAL ADMINISTRATIVO	171
ILUSTRACIÓN 189 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIOS ESTUDIANTES.....	172
ILUSTRACIÓN 190 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIOS DOCENTES.....	172
ILUSTRACIÓN 191 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIOS PERSONAL ADMINISTRATIVO	172
ILUSTRACIÓN 192 - ENTORNOS DE USUARIOS AGREGADOS PARA EL ESCENARIO	173
ILUSTRACIÓN 193 - ZONA DE CÁLCULO PARA WiMAX	174
ILUSTRACIÓN 194 - CONFIGURACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL.....	175
ILUSTRACIÓN 195 - PREDICCIÓN DE COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL WiMAX.....	175
ILUSTRACIÓN 196 - COBERTURA POR NIVEL DE SEÑAL WiMAX, ÁREA CON POTENCIA MAYOR A -80DBM.....	176
ILUSTRACIÓN 197 - CONFIGURACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRANSMISORES WiMAX.....	177
ILUSTRACIÓN 198 - CONFIGURACIÓN DE LA PREDICCIÓN DE COBERTURA POR TRANSMISOR WiMAX	177
ILUSTRACIÓN 199 - PREDICCIÓN DE COBERTURA POR TRANSMISOR WiMAX.....	178

ILUSTRACIÓN 200 - CREANDO UN MAPA DE TRÁFICO WIMAX	178
ILUSTRACIÓN 201 - CÓDIGOS DE COLOR POR ENTORNO PARA MAPA DE TRÁFICO WIMAX	179
ILUSTRACIÓN 202 - MAPA DE TRÁFICO DE LA FACULTAD DE DERECHO	179
ILUSTRACIÓN 203 - MAPA DE TRÁFICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.....	180
ILUSTRACIÓN 204 - MAPA DE TRÁFICO DE HEODRA (FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS).....	180
ILUSTRACIÓN 205 - MAPA DE TRÁFICO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y HUMANIDADES	180
ILUSTRACIÓN 206 - MAPA DE TRÁFICO DEL CAMPUS MÉDICO (FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS).....	181
ILUSTRACIÓN 207 - VISTA GENERAL DE LOS MAPAS DE TRÁFICO PARA WIMAX UNAN-LEÓN	181
ILUSTRACIÓN 208 - ENTORNO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y HUMANIDADES.....	182
ILUSTRACIÓN 209 - ENTORNO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS	183
ILUSTRACIÓN 210 - ENTORNO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA.....	183
ILUSTRACIÓN 211 - ENTORNO DE LA FACULTAD DE DERECHO	183
ILUSTRACIÓN 212 - SIMULACIÓN DE USUARIOS DE WIMAX UNAN-LEÓN.....	184

Índice de tablas

TABLA 1 - UBICACIÓN DEL COMPONENTE TECNOLOGÍA DE REDES CELULARES EN EL PLAN 2011 DE INGENIERÍA EN TELEMÁTICA	21
TABLA 2 - PRESUPUESTO DE HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA IMPLEMENTAR PRÁCTICAS EN FÍSICO.....	24
TABLA 3 - COMPARACIÓN DE NOMBRES DE ELEMENTOS DE UNA RED DE RADIO	46
TABLA 4 - PRECIOS DE LICENCIA DE GLOBAL MAPPER.....	61
TABLA 5 - REQUERIMIENTOS SOFTWARE Y HARDWARE PARA LA INSTALACIÓN DE ATOLL	62
TABLA 6 - FORMATO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	73
TABLA 7 - DISTRIBUCIÓN DE HORAS POR PRÁCTICA.....	73
TABLA 8 - VELOCIDAD MÁXIMA DE USUARIOS POR ENTORNO GSM.....	101
TABLA 9 – VELOCIDADES POR ENTORNO PARA UMTS	121
TABLA 10 – OBJETIVOS DE CALIDAD POR SERVICIO UMTS.....	121
TABLA 11 - CONFIGURACIÓN DE SERVICIOS EN UMTS.....	124
TABLA 12 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIO STANDARD USER EN UMTS.....	125
TABLA 13 - CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE USUARIO BUSSINES USER EN UMTS.....	125
TABLA 14 - CONFIGURACIÓN DE ENTORNOS PARA ESCENARIO UMTS.....	126
TABLA 15 - TABLA DE RESULTADOS DESGLOSADA POR SERVICIOS, DE LA SIMULACIÓN UMTS	133
TABLA 16 - USOS DE TERRENO PARA LTE	139
TABLA 17 - ASOCIACIÓN DE ENTORNOS SEGÚN USO DE TERRENO LTE	152
TABLA 18 - NÚMERO DE USUARIOS POR PERFIL DE USUARIO Y ENTORNO WIMAX UNAN-LEÓN	182

Introducción

Dos de los principales motores de la Sociedad de la Información han sido, sin duda, Internet y las comunicaciones móviles [1]. En la medida que las tecnologías de redes móviles evolucionan, el consumo de estas tecnologías aumenta de manera sorprendente. La ITU (International Telecommunications Union) considera que las comunicaciones celulares son la tecnología de más rápida aceptación a través de la historia [2].

Por definición, la teleinformática o telemática es la asociación de técnicas propias de las telecomunicaciones y la informática, con la que se realiza a distancia el intercambio de datos y el control de tratamientos automáticos [3]. En consecuencia, las redes móviles son un componente elemental en el estudio de la Ingeniería en Telemática.

El presente trabajo está orientado al desarrollo de prácticas de laboratorio para el componente de Tecnologías de Redes Celulares de la carrera de Ingeniería en Telemática de la UNAN-León, enfocadas específicamente en la planificación de redes celulares de segunda, tercera y cuarta generación; esto conlleva estudios de cobertura y calidad de la señal, tomando en cuenta las condiciones de terreno, distribución, tráfico y movilidad de los usuarios, así como la demanda que los usuarios hacen de los diferentes servicios proporcionados por cada tecnología en particular.

Para la realización de las prácticas se hizo uso de la herramienta Atoll, desarrollada por la empresa Forsk. Ésta herramienta permite el análisis y planificación de frecuencias, cálculos de cobertura y predicciones sobre una red celular, durante su diseño y optimización [4].

Las prácticas incluyen, además, información básica sobre el uso de la herramienta y características generales de los protocolos: GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, LTE y WIMAX.

Antecedentes

Se ha hecho una revisión de las publicaciones de investigaciones realizadas en el país y en la región, de los diferentes portales de universidades, de forma específica, no se han encontrado trabajos que se refieran a propuestas de prácticas de laboratorio para la asignatura de redes móviles, redes celulares o afines. No obstante, sí hay monografías sobre diseño y planificación de redes celulares, utilizando Atoll. Las siguientes investigaciones tienen mucha relación con el presente trabajo:

1) Simulación y Análisis de una red LTE en ambientes urbanos en Managua, véase la referencia [5].

Autores: Carlos Eduardo Rodríguez A y Marvin Arias Olivas, miembro de IEEE, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua.

Año: 2015.

En esta investigación se simula una serie de escenarios en ATOLL y MATLAB utilizando como referencia los puntos de red de la compañía Yota, usando técnicas de coubicación², a fin de determinar si la tecnología LTE es una solución para la demanda de servicios de voz y datos que deben satisfacer los operadores de celular actualmente en Nicaragua. En el documento, los autores afirman haber obtenido una instantánea del desempeño LTE, y que al compararlo con mediciones de campo de la red Yota (compañía que al momento utiliza WiMAX 802.16a para brindar servicios de datos móviles), los resultados demuestran que la tecnología LTE tiene un mejor desempeño en velocidad de datos, que puede transmitirse en el DL, para Web Browsing. Por lo anterior, concluyen que, afirmativamente, la tecnología LTE es una solución para la demanda de servicios de voz y datos que deben satisfacer los operadores de celular actualmente en Nicaragua.

2) Simulación y Análisis de Cobertura para Tecnología LTE en el Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca, Ecuador, véase la referencia [6].

Autora: Daniela Estefanía Barrera Salamea, Universidad de Cuenca, Ecuador.

Año: 2015.

Este proyecto analiza el comportamiento de cobertura, interferencia y capacidad de este tipo de red (LTE) implementada en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca. Después de un estudio acerca de las herramientas de planificación de radio, la plataforma de simulación de redes utilizada es ICS TELECOM, de la cual se aprovechan sus capacidades en planificación de

² Coubicación: Servicio por el cual un operador provee las condiciones necesarias para la instalación de equipos de un tercer operador y la conexión entre sus redes, en los edificios en donde alberga elementos de red, o en parcelas e inmuebles contiguos de su propiedad. (Concepto tomado de: <http://www.elportaldelmovil.com/glosario/coubicacion>, último acceso el 22 de noviembre de 2016).

frecuencias, gestión del espectro radioeléctrico, predicción de la cobertura y análisis de interferencia. En sus conclusiones, la autora afirma lo siguiente: “Para el análisis de una red LTE sobre el área mencionada, luego de comparar las plataformas de comunicación: ICS TELECOM, ATOLL y XIRIO ONLINE; se concluyó que XIRIO ONLINE presenta menores características que las otras plataformas, aunque dispone de cartografía libre de baja resolución para el usuario. Tanto ICS TELECOM como ATOLL presentan significativas funciones para planificación y optimización de redes de telecomunicaciones”.

3) LTE Performance and Analysis using Atoll Simulation, véase la referencia [7].

Autores: Mohammed Elhadi Abdelgalil y Dr. Amin Babiker A/Nabi, Department of Telecommunications, Faculty of Engineering, Al-Neelain University, Sudán.

Año: 2014.

En este trabajo se hace una simulación de planificación LTE utilizando Atoll. Esta simulación incluye análisis de cobertura y rendimiento del enlace ascendente y descendente, cobertura por nivel de señal, análisis de la relación señal e interferencia del enlace ascendente y descendente, y análisis de zona de solapamiento. Después de hacer estas simulaciones, se concluyó que la red LTE tiene muchas ventajas sobre la anterior forma de cobertura de las redes; tales ventajas se evidencian en el rendimiento del enlace ascendente y descendente, la cobertura por nivel de señal, la cobertura de relación señal a interferencia en el enlace ascendente y descendente y la zona de solapamiento. Además de que los limitados recursos para transmitir son un hecho importante a considerar cuando el deseo es mejorar la velocidad de las transmisiones.

4) Simulation of GSM Mobile Networks Planning Using ATOLL Planning Tool, véase la referencia [8].

Autores: Reshma Begum Shaik y T. Krishna Chaitanya. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT).

Año: 2012.

En este artículo se plantea la planificación de radio como una herramienta que permite obtener una solución rentable en términos de cobertura, capacidad y calidad. Explica sobre el espectro radioeléctrico como un recurso limitado que debe ser compartido entre diferentes operadoras de forma óptima. El propósito de este trabajo es la utilización del ancho de banda limitado muy cuidadosamente³ a fin de atender a millones de personas en una vasta área, con buena calidad, buena cobertura y sin interferencias, utilizando la herramienta de planificación Atoll. Los autores concluyen que la planificación de radiofrecuencias es la base de una red de comunicación móvil, especialmente en redes celulares de alto costo, donde es importante la calidad. Además, afirman que debe haber una buena planificación, pues ésta es útil para la expansión de la red y actualización del servicio en el futuro.

³ Cuidadosamente: preciosamente. Precisously, en el texto original.

5) Métodos para el aumento de la capacidad UMTS en Atoll, véase la referencia [9].

Autor: Rafael Domínguez González, Universidad de Sevilla, España.

Año: 2009.

En el año 2009, España estaba dando un salto generacional en las redes celulares (De la segunda generación con GSM + GPRS a la tercera generación con UMTS). La implementación de tecnologías de tercera generación significó una importante ventaja en cuestión de calidad de servicios; no obstante, representó una fuerte inversión por parte de las operadoras, dado que UMTS, por trabajar con frecuencias más altas, tiene menos alcance (cobertura) que GSM. El objetivo de este proyecto consiste en evaluar la mejora de capacidad que producen los cambios en la potencia y el número de frecuencias de cada estación base en un ejemplo práctico, mediante simulación por Atoll.

En el documento, el autor dedica un capítulo para hablar de RNP (Radio Network Planning), en el que hace una breve reseña de cada una de las funciones básicas de Atoll, y su aplicación en las redes móviles UMTS. En sus conclusiones afirma que, mediante el estudio realizado, comprobaron las múltiples soluciones que ofrece la tecnología UMTS en cuanto a configuración y versatilidad de características en lo que respecta a capacidad y cobertura. Además, asegura que, si bien el aumento de tráfico de una zona particular conduce de forma inexorable al aumento permanente de infraestructura, mediante una buena planificación inicial se puede reducir la inversión necesaria para adecuar la red al tráfico demandado.

6) Planificación mediante Atoll de red WIMAX móvil para los centros de la Universidad de Sevilla, España, véase la referencia [10].

Autor: Antonio Carmona Sánchez, Universidad de Sevilla, España.

Año: 2008.

En este proyecto se hace un dimensionamiento y planificación de una red Wimax móvil para proporcionar acceso inalámbrico a los miembros de la Universidad de Sevilla, España. La red se constituye por una serie de estaciones bases ubicadas en cada una de los recintos de la Universidad de Sevilla, de tal forma que los miembros de la comunidad universitaria puedan tener acceso móvil de banda ancha, tanto desde el interior de los edificios como desde el exterior, siempre y cuando se encuentren dentro del área de cobertura de cada uno de los puntos de acceso que forman la red. El estudio de red fue realizado mediante la herramienta de planificación Atoll, con ella únicamente se diseñó la red de acceso. Por tanto, el alcance del proyecto es el de planificar los puntos de acceso que forman la red WiMAX para dicha Universidad. Luego de efectuarse una serie de simulaciones, se concluyó que se cumplió el objetivo de dar servicio a la población de alumnos considerada, además se tomó en cuenta que el número de usuarios presentes en la red no fluctúa de manera excesiva a lo largo de los años.

Planteamiento del problema

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-León, sede central, ofrece a partir del año 2006, la carrera de Ingeniería en Telemática. La carrera es ofrecida por el Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias y Tecnología; y recibe a ochenta nuevos estudiantes por año [11].

Hasta el momento, la carrera ha tenido dos planes de estudio. El primero fue aprobado en 2007, y el segundo en 2011; siendo este último el que se encuentra vigente.

Dentro de las mejoras del plan 2011, se puede mencionar el componente curricular de: Tecnologías de Redes Celulares, cuya microprogramación propone abordar las diferentes tecnologías de redes celulares, clasificándolas por generación y servicios que en cada una de estas son ofrecidos al usuario; además, se plantea abordar la evolución que dichas tecnologías han tenido a lo largo de los años, así como las diferencias fundamentales entre cada una de ellas.

La microprogramación del componente Tecnologías de Redes Celulares ha sido elaborada por MSc. Julio César González Moreno y MSc. Denis Leopoldo Espinoza Hernández desde octubre de 2013, y ha sido propuesta como curso electivo a impartirse en el noveno ciclo de la carrera (primer semestre del quinto año). El componente dispone de tres créditos y de cuatro horas presenciales a la semana.

En la Tabla 1, se puede observar la ubicación del componente, el total de horas, los créditos y los requisitos, tal como aparecen en la Macroprogramación de la carrera Ingeniería en Telemática [12].

Tabla 1 - Ubicación del componente Tecnología de Redes Celulares en el plan 2011 de Ingeniería en Telemática

RÉGIMEN	N°	COMPONENTES	TOTAL HORAS	CRÉDITOS	REQUISITOS
SEMESTRE IX	56	ADMINISTRACIÓN DE SERVICIOS DE RED	90	4	GESTIÓN DE SISTEMAS UNIX
	57	SEGURIDAD EN REDES	60	3	REDES DE COMPUTADORES
	58	INVESTIGACIÓN III	30	2	INVESTIGACIÓN II
	59	ELECTIVA VIII (COMPUTACIÓN EN LA NUBE O PROGRAMACIÓN EN ANDROID)	60	3	-
	60	GESTIÓN DE RED	60	3	REDES DE COMPUTADORES
	61	ELECTIVA IX (REDES DE ÁREA EXTENSA O TECNOLOGÍA DE REDES CELULARES)	60	3	-
			360	18	

Como puede apreciarse en la Tabla 1, la electiva IX, con número 61, no tiene requisito para

poder ser inscrita. Según la maya curricular de Ingeniería en Telemática (ver fragmento en Ilustración 1) tomada del mismo documento, el componente pertenece al área curricular: Formación profesional (Básica y específica).

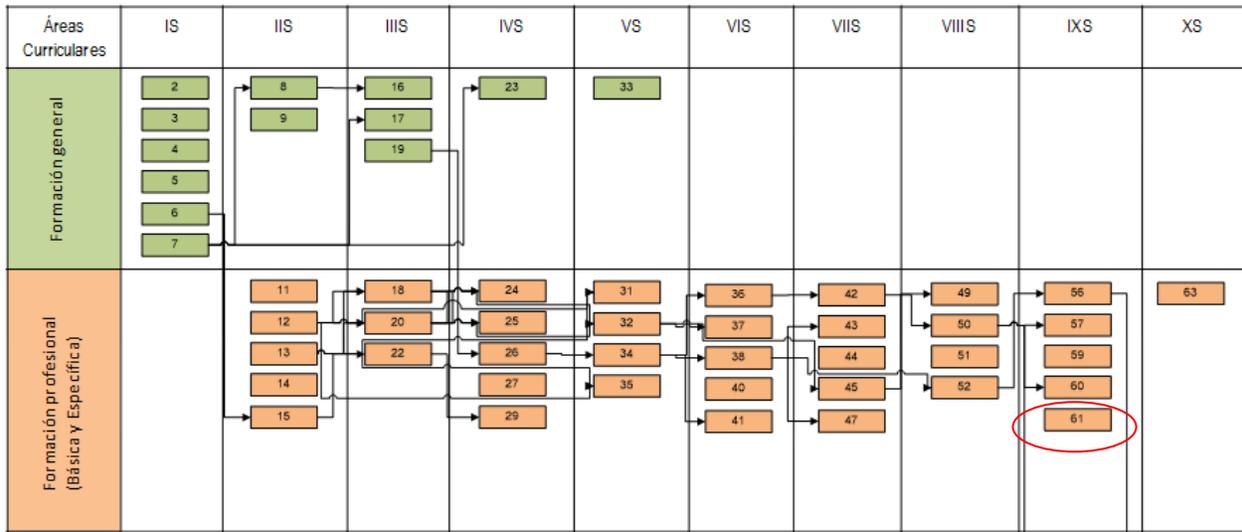


Ilustración 1 - Maya curricular de Ingeniería en Telemática

La Microprogramación del componente, afirma que: “En este componente curricular se ofrece una perspectiva suficientemente amplia de los elementos y sistemas de comunicaciones móviles asociados con redes celulares; esto a través de una visión general de la evolución de estos sistemas empleando conceptos asociados a radiocomunicaciones, sistemas y redes de telecomunicación, especialmente aquellos referidos al cálculo de cobertura y capacidad, fundamentales para una planificación adecuada [13]”.

Pese a lo antes dicho, el componente no ha sido impartido aún, lo que supone un déficit en la formación profesional de las personas que estudian la carrera, frente a la demanda de tales conocimientos en el mercado laboral. Es válido mencionar que el componente aún no cuenta con un documento que sirva de referencia para impartir la parte práctica, ni la parte teórica.

Aunque la inscripción del componente no tiene requisito, el estudiante debería contar con conocimientos básicos sobre la temática. De los componentes cursados en la carrera, los que más se relacionan son Tecnologías de Nivel Físico, Comunicación de Datos y Procesos Aleatorios. Lo ideal sería que el estudiante hubiese cursado materias tales como Radiofrecuencia, o Física Aplicada a las Telecomunicaciones, pero éstas últimas no están contempladas en plan de estudios aprobado en 2011.

Cabe señalar que ninguno de los laboratorios del Departamento de Computación cuenta con los materiales especializados para desarrollar prácticas sobre tecnologías de redes celulares de manera física. La adquisición de este tipo de equipos, si llegara a hacerse, sería una inversión significativa para la Universidad; a menos que hubiera otra manera de obtenerlos (Contactos, convenios con empresas, etc.).

Por lo antes expuesto, surgen las siguientes preguntas:

- ¿De qué manera se podría proporcionar al estudiante un recurso que le sirva como referencia para realizar sus prácticas de Tecnologías de Redes Celulares?
- ¿Qué contenidos deben abordarse en las prácticas, y de qué forma estos contenidos deben estar clasificados?
- ¿Qué prácticas de laboratorio se pueden desarrollar para impartir el componente Tecnologías de Redes Celulares y cómo serán estas prácticas? ¿Físicas, simuladas, virtualizadas?
- ¿Qué herramientas y recursos son los adecuados para llevar a cabo el desarrollo de las prácticas?

Justificación

El producto final del presente trabajo será un documento con el enunciado, requisitos y competencias a desarrollar, de una serie de prácticas de laboratorio para el componente Tecnologías de Redes Celulares. Las prácticas están enfocadas en la planificación, cálculos de cobertura, predicciones y análisis de tráfico sobre las diferentes tecnologías de redes celulares.

No se ha impartido el componente aún, y no hay documentos en la Universidad que hayan sido elaborados para impartir esta asignatura, en este sentido, la elaboración de estas prácticas juega un papel significativo.

De acuerdo con la naturaleza de la carrera, es fundamental en la formación profesional del estudiante, el conocimiento, cuando menos, básico, sobre la funcionalidad y características generales de las redes móviles. En Nicaragua hay cada vez más consumo de servicios móviles, y consecuentemente, más inversión en esta área. En los últimos años, el Instituto Nicaragüense de Comunicaciones y Correos ha estado licitando espacio en el espectro radioeléctrico, lo cual ha permitido que nuevas compañías telefónicas vengan a ofrecer sus servicios al país [14]; como resultado, también puede preverse un aumento en la demanda de profesionales con conocimientos en el campo.

En relación con el aprendizaje, es substancial para el alumno, tener un documento inmediato y puntual de referencia que le sirva de apoyo para realizar sus prácticas. Por otro lado, el docente podrá contar con una guía que le facilite la asignación de trabajos y prácticas de laboratorio, a fin de alcanzar los objetivos que se propone con la clase.

Se ha estimado que la inversión en equipos especializados para hacer las prácticas de manera física, sobrepasa los veinticinco mil dólares más impuestos. En la Tabla 2 se detalla un presupuesto para la adquisición de cinco equipos de trabajo:

Tabla 2 - Presupuesto de herramientas necesarias para implementar prácticas en físico⁴

Cantidad	Producto	Precio unitario	Total
5	Tektronix RSA306 Analizador de Espectro USB de Tiempo Real. Frecuencias de 9kHz a 6.2GHz, 40MHz de Ancho de Banda, Rango de Medición de +20 dBm a -160 dBm	\$3,730.00 + IVA	\$18,650.00 + IVA
5	FLUKE-115, Multímetro.	\$251.00 + IVA	\$1,255.00 + IVA
5	GW Instek GDS-1102-U, Osciloscopio de 100 MHz 2CH 250 Msa/s 4KB de Memoria.	\$536.80 + IVA	\$2,684.00 + IVA
5	BK Precision 2005B Generador de RF a 450 MHz	\$344.00 + IVA	\$1,720.00 + IVA
5	BK Precision 4003A Generador de Funciones de 4 MHz con display de LED's de 5 dígitos	\$332.00 + IVA	\$1,660.00 + IVA
	Totales	\$5,193.80 + IVA	25,969.00 + IVA

⁴ Los precios de la tabla fueron obtenidos de <http://www.finaltest.com.mx>, el 28 de noviembre de 2015.

El presupuesto anterior supone la elaboración de pruebas sobre proyectos de redes celulares ya implementados, dado que realizar proyectos desde cero implicaría invertir en otro tipo de materiales, tales como antenas (transmisoras y receptoras), servidores para el control de centrales telefónicas, y materiales relacionados tales como cables, kits de herramientas, etc.

Por lo antes expuesto, el presente trabajo propone la realización de una serie de prácticas de laboratorio de tecnologías de redes celulares, utilizando un software de planificación de radio como herramienta de trabajo.

Después de todo, el uso de herramientas de planificación (software de planificación de radio) es elemental en distintas áreas del estudio de las redes celulares, y es útil en la ejecución de pruebas, investigación de problemas y estudios de impacto de dichas redes. Se hace uso de herramientas de planificación tanto en escenarios reales como académicos. A la vez, el uso de estas herramientas, le ayudarán al estudiante a asimilar de una mejor manera los contenidos de la clase.

El desarrollo de prácticas de laboratorio tiene también un significado trascendental; en primer lugar, porque por medio de ello, el estudiante adquirirá competencias que le servirán como base en su desempeño laboral, y en segundo lugar, porque facilita la impartición del componente, lo cual, a su vez, es un avance en la carrera y contribuye al progreso del país.

En algunos planes de estudio de universidades que imparten el componente Redes Móviles, Redes Celulares o afines a las carreras relacionadas con las telecomunicaciones, este componente tiene como pre-requisito la clase de radiofrecuencia. En la UNAN-León, por tratarse este componente de una electiva, no tiene pre-requisito; además, no hay una clase previa que profundice en el tema de radiofrecuencia.

Por esta razón, las prácticas a desarrollar en el presente trabajo no incluyen estudios minuciosos de las fórmulas que el programa emplea para hacer cálculos de potencia de señal y comportamiento de ondas en el proceso de transmisión y propagación de la información.

Objetivos

A continuación, se plantean tanto el objetivo general, como los objetivos específicos para el presente trabajo.

Objetivo general

Desarrollar prácticas de laboratorio para el componente curricular Tecnologías de Redes Celulares, utilizando la herramienta Atoll, para la carrera de Ingeniería en Telemática de la UNAN-León.

Objetivos específicos

Identificar los contenidos que serán abordados en las prácticas, así como la forma en que éstos deben clasificarse.

Seleccionar las herramientas y recursos orientados a las redes celulares, aplicadas al diseño, planificación y optimización, que sean los adecuados para el desarrollo de las prácticas.

Definir un formato de prácticas con los elementos y apartados necesarios para su elaboración.

Elaborar un documento que contenga una guía del desarrollo de cada una de las prácticas, aplicando el formato definido.

Marco teórico

A continuación, se desarrollarán los conceptos teóricos necesarios para el adecuado entendimiento de los apartados que serán desarrollados posteriormente y que forman la base de las prácticas referidas a Tecnologías de Redes Celulares.

Conceptos generales

El espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico, también conocido como radiofrecuencia, es el segmento de frecuencias comprendido en el espectro electromagnético, ubicado en el rango de ondas electromagnéticas que van de 3KHz a 3000GHz [15].

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales y domésticas. Es, por consiguiente, uno de los elementos sobre los que se basa el sector de la información y las comunicaciones para su desarrollo [10].

Las aplicaciones de la radiofrecuencia son diversas, y las podemos clasificar en dos categorías [16]:

Broadcast (unidireccional): Los usuarios solamente pueden recibir información, por ejemplo: Radio AM y FM, Televisión VHF, UHF y Ku satélite.

Comunicaciones inalámbricas (bidireccional): Los usuarios pueden recibir o acceder a la información, además, pueden enviar información y comunicarse. Ejemplos de ello: Telefonía celular, redes inalámbricas (WLAN, WPAN) y GPS.

Unidades de medida de radiofrecuencia

Las ondas de radio, al igual que el resto de vibraciones electromagnética, tienen dos propiedades fundamentales: Amplitud y frecuencia. La amplitud se mide en decibelios-milivatios (dBm) y la frecuencia en hercios (hertz).

dBm: (decibelio-milivatio). Es una unidad de medida que se refiere a decibeles relativos a un mili watt (1 m W) disipado en una impedancia resistiva de 50 ohm (definido como el nivel de referencia de 0 dBm) [17].

Hertz: (Hercio en español) Es el número de ciclos por segundo de una onda electromagnética. Su abreviatura es **Hz**. Sus múltiplos más utilizados son: KHz (Kilohertz, mil Hz), MHz (MegaHertz, mil KHz) y GHz (GigaHertz, Mil MHz).

Sistema de telefonía celular

Un sistema de telefonía celular puede considerarse como el conjunto de todos los componentes de la comunicación móvil, que incluye: Dispositivos móviles que se suscriben generalmente utilizando una tarjeta SIM, La interfaz de acceso radio, un subsistema de estaciones base, el subsistema de red y un sistema de administración de red, y sus respectivos protocolos y estándares. Los nombres de los componentes difieren en cada tecnología.

Un sistema de telefonía celular puede verse en tres segmentos:

- La red central, también llamada red troncal o red core (Core Network).
- La red de acceso radio, también conocida como red celular.
- La red de control.

Cabe destacar que el presente estudio está enfocado en la red de acceso radio. No obstante, en los siguientes apartados haremos una mención breve de cada uno de los segmentos de un sistema de telefonía celular.

La red central

Es la infraestructura de conmutación y routing (encaminamiento), también llamada núcleo de red. La red central es el componente de la red que establece la comunicación entre las múltiples secciones de la red de acceso, la cual recoge el tráfico directamente de varias estaciones base de radio [18].

El núcleo de red incorpora funciones de transporte (de la información de tráfico y señalización, incluida la conmutación) y de inteligencia (aquí se incluye el encaminamiento, además de la lógica y el control de ciertos servicios, y la gestión de la movilidad) [1].

Los componentes principales de la red central son:

- Centro de Conmutación Móvil
- Bases de datos para el control de suscriptores.

Elementos de la red central

MSC (Mobile Switching Center)

En español Centro de Conmutación Móvil. El MSC es la parte central de una red de telecomunicaciones móviles. En una red de conmutación de circuitos clásicos, todas las conexiones entre los suscriptores son gestionados por el MSC y siempre se enrutan por una matriz de conmutación, incluso si dos abonados que han establecido una conexión se comunican a través de la misma celda de radio [19].

El MSC es el elemento más importante de la red central, y es responsable de funciones de conmutación necesarias para la interconexión entre usuarios de la red móvil y usuarios de la red fija [20].

Las funciones principales del MSC son:

- Registro de suscriptores móviles: Cuando un dispositivo móvil se conecta, es registrado en la red para poder ser encontrado por otros suscriptores de la red.
- Establecimiento de llamadas entre dos suscriptores.
- Reenvío de mensajes SMS.

Los suscriptores pueden moverse libremente en la red, por lo que el MSC es también responsable de la gestión de la movilidad de los usuarios [19].

Conmutación en la red de datos (SGSN y GGSN)

En las redes de datos, la conmutación de paquetes se hace a través de nodos de soporte de datos, entre los cuales tenemos:

SGSN (Serving GPRS Support Node): El SGSN representa el centro de conmutación GPRS en analogía al MSC. El SGSN es responsable del enrutamiento dentro de la red de radio por paquetes y para la movilidad y la gestión de recursos. Además, proporciona autenticación y cifrado para los suscriptores GPRS [21]. Es responsable de la entrega de paquetes de datos de/a las estaciones móviles dentro de su área de servicio [22].

GGSN (Gateway GPRS Support Node): Sirve como interfaz hacia la Red de Datos Públicos (PDN) u otra Red Pública Móvil Terrestre (PLMN). La red de datos externa será en la mayoría de los casos Internet [19]. Aquí, se cumplen las funciones de conmutación, por ejemplo, la evaluación de las direcciones de protocolo de paquetes de datos y el enrutamiento a los suscriptores móviles a través del SGSN [21].

Bases de datos para el control de suscriptores.

HLR (Home Location Register)

El HLR es una base de datos de suscriptores. Contiene una entrada por cada suscriptor, que contiene información acerca del estado y servicios disponibles para ese suscriptor. Este registro es permanente durante todo el período de validez de un suscriptor [19].

VLR (Visitors Location Register)

El registro de ubicación de visitantes guarda una entrada por cada suscriptor que está siendo atendido por el MSC en un momento determinado. Cada entrada es una copia del registro HLR, para evitar que el MSC tenga registros inmediatos y haga menos accesos al HLR [19].

AUC (Authentication Center)

El Centro de autenticación mantiene una clave por cada suscriptor [19], y es la responsable de las políticas de seguridad de la red. Tiene los datos necesarios para proteger la red de falsos suscriptores, y proteger las llamadas de los suscriptores conectados [20].

La red celular o red de acceso radio

Una red celular es un sistema zonal de antenas transmisoras de baja potencia trabajando de forma coordinada, el cual permite cubrir determinada área geográfica. Al área que cubre cada antena por separado se le llama célula [23].

Las redes celulares son también conocidas como redes móviles, y están basadas en diferentes formas de acceso múltiple a una interfaz de radio, es decir, a la comunicación entre dispositivos móviles y estaciones base [24].

La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red [1].

Estación Base

Una estación base consiste en un sitio, donde se ubica uno o más transmisores, varias piezas de equipo de radio y configuración tales como: células o celdas celulares [25].

Provee la interfaz entre el MSC y las unidades móviles. Contiene una unidad de control, gabinetes de radio, antenas, una planta de alimentación y terminales de datos. Es un control central para todos los usuarios de la célula. Se compone de: un transceptor de radio, un amplificador de potencia, la unidad de control y la antena [18].

Célula (celda)

Es el área de cobertura de una estación base, generalmente representada en forma hexagonal [18]. Cada celda constituye una pieza del área total de servicio que se quiere cubrir.

Geográficamente, una célula es un área de terreno cubierta por señales de radiofrecuencia (RF). La fuente de radiofrecuencia está localizada en el centro de la célula.

Forma de las celdas

Dado que las celdas son irregulares en la práctica, para una mejor planeación se utilizan celdas teóricas (hexágonos) [18].

Basada en la teoría fractal, la característica estadística del límite de cobertura de una celda⁵ se determina por los datos celulares inalámbricos de medición recogidos de Shanghai, China. Los resultados medidos indican que el límite de la cobertura celular inalámbrica presenta una forma geométrica muy irregular, que se denomina una **forma estadística fractal** [26].

⁵ cobertura de una celda. Literalmente: cobertura celular inalámbrica (Wireless celular coverage).

Clasificación de las celdas

Por tamaño, las celdas se clasifican en [18]:

Megacélulas: Las megacélulas son las de más amplia área de cobertura, soportan un radio mayor a los 35Km. Estas células se han establecido en ambientes de muy poco tráfico o de tráfico ocasional.

Macrocelulas: Se encuentran en el rango de 1 a 35 Km. Su tamaño varía con respecto al tráfico de la región. Se han establecido en ambientes urbanos poco densos, así como en ambientes rurales con buena cantidad de tráfico. Estas células proveen servicios en ambientes outdoor (exterior) y vehiculares.

Microcélulas: Puede variar a menos de 1 Km. Pueden soportar ambientes urbanos intensos indoor/outdoor (interior/exterior). Está claro que, para poder proveer estos tamaños, es necesario un exhaustivo estudio probabilístico y estadístico, así como una buena planificación del sistema celular, a fin de lograr un buen reuso de frecuencias.

Picocélulas: Están diseñadas para ambientes urbanos intensos y ambientes indoor, llegan a medidas de menos de 50 m.

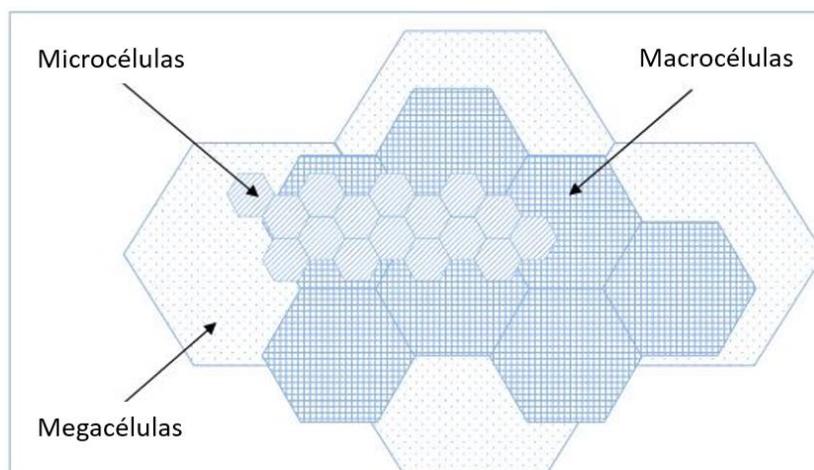


Ilustración 2 - Clasificación de las celdas por tamaño

De acuerdo con la relación que una celda tiene con las demás celdas, las celdas pueden ser:

Celdas co-canal: Son celdas que usan el mismo canal de frecuencias.

Celdas adyacentes: Son celdas que están ubicadas geográficamente de forma contigua, de tal forma que comparten sus bordes.

Sectorización de celdas

La sectorización de celdas es otra estrategia para mejorar el reuso de frecuencias en ambientes con tráfico muy denso. Consiste en dividir la celda en sectores. Cada sector de la célula es provisto de señales por una antena direccional, la cual cubre un determinado rango de grados, según la sectorización [18]. La sectorización más usada es la de 120 grados, con tres sectores

en cada celda.

Cuando la celda no está sectorizada, se utilizan transmisores (antenas) omnidireccionales al centro de la celda. Por esta razón, suele llamársele celdas omnidireccionales.

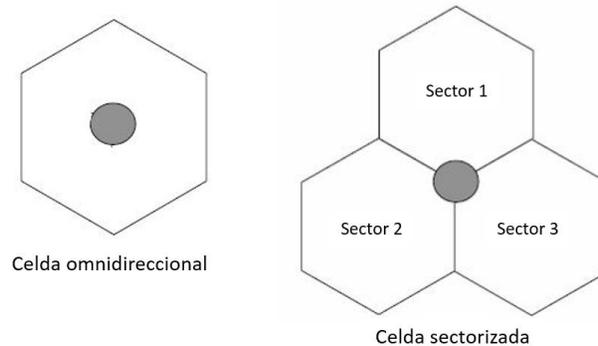


Ilustración 3 - Sectorización de celdas

Móviles (estaciones móviles)

A menudo llamados suscriptores, son estaciones radioeléctricas del servicio móvil previstas para su utilización en movimiento. El término incluye a los equipos portátiles o de mano, que son aquellos que acompañan al usuario. A las estaciones móviles de un sistema suele llamárseles genéricamente terminales [27]. Constan de un transceptor de radio, la unidad lógica y de control, y la antena. La unidad de control incluye: teclado, pantalla, altavoz y micrófono [18].

En las redes de conmutación de circuitos, las estaciones móviles se identifican a través de una tarjeta SIM (Subscriber Identity Module).

Planificación de una red celular

La etapa de planificación de red consiste en determinar todos los elementos asociados a una planificación de radio frecuencias según la tecnología que se vaya a utilizar (potencias, número de estaciones base, etc.) [15]. La planificación de una red celular es un proceso que se realiza antes del despliegue de la red, y se sigue haciendo durante toda la vida de la red.

El proceso de planificación

El proceso de planificación de una red celular está pensado para maximizar la cobertura de la red, al mismo tiempo que se provee la capacidad deseada [28], y está comprendido básicamente en tres fases [29].

- Planificación inicial (Dimensionamiento de la red)
- Planificación detallada
- Optimización

Planificación inicial (Dimensionamiento de la red)

En la planificación inicial se recopilan todos los datos necesarios a fin de obtener una estimación rápida del número de emplazamientos que se necesitan para el despliegue de la red. Entre ellos podemos mencionar: Las características de la red que se desea desplegar, servicios que se van a proporcionar, así como la calidad que se espera lograr y objetivos de cobertura [28].

El objetivo de la fase de dimensionamiento de una red móvil es la estimación del número aproximado de emplazamientos necesarios y su configuración [1].

Planificación detallada

En la planificación detallada, hacemos pruebas con todos los datos reunidos, generalmente utilizando un software de planificación; además, hacemos uso de toda la información disponible que nos lleve a hacer una estimación realista del funcionamiento de la red, entre ella tenemos: Datos sobre emplazamientos existentes (si ya existe una red implementada) y selección de emplazamientos nuevos o identificación de sitios donde potencialmente debería haber un emplazamiento, densidad y distribución de los usuarios, demanda de los servicios en diferentes entornos, especificación de frecuencias y modelos de propagación, predicciones de cobertura y calidad de servicios, entre otros [28].

La planificación detallada de la red tiene en cuenta la ubicación real de los emplazamientos, las condiciones de propagación y una distribución de los usuarios lo más fidedigna posible (basada en la mayoría de los casos en predicciones de tráfico) [1].

Optimización

La fase de optimización consiste en plantearse una solución que haga el mejor uso de los recursos evaluando la capacidad, cobertura, configuraciones hechas e interferencia. Se hacen correcciones y ajustes de las configuraciones hechas en la planificación detallada; generalmente estas configuraciones se hacen en una parte pequeña de la red [28].

A medida que la red crezca, habrá necesidad de evaluar si se sigue cumpliendo con los objetivos de cobertura y calidad requeridos; lo más probable es que habrá que hacer de nuevo el proceso de optimización de la red. La optimización de la red es un proceso continuo.

Tanto la etapa de planificación detallada como en la etapa de optimización, consiste en la realización de una serie de estudios de la red, a fin de tomar decisiones acertadas. Los estudios se clasifican en predicciones y simulaciones.

Predicciones

Una predicción es una estimación del comportamiento de las ondas de radio, partiendo del análisis de las trayectorias de propagación de las ondas, tomando en consideración la distancia y condiciones del terreno (como el relieve y tipos de obstáculos). Normalmente se usa un software de planificación, y el resultado es un mapa de bits con diferentes colores que

representan diferentes comportamientos de la señal.

Las predicciones pueden hacerse con distintos propósitos, y son parte de todo el tiempo de vida de la red. Dentro de las predicciones más importantes tenemos: estudios de cobertura, estudios de capacidad y estudios de calidad.

Predicciones de cobertura

Las predicciones de cobertura, también conocidas como estudios de cobertura, son efectivamente predicciones de perfiles de trayectoria múltiple (un estudio del comportamiento de múltiples trayectorias de la señal), con la intensidad de campo recibida o potencia equivalente mostrada en diferentes colores [30].

Para realizar una predicción de cobertura se necesitan los siguientes datos:

- ✓ Ubicación y altura del transmisor.
- ✓ Alturas de los diferentes puntos de la zona a evaluar (Normalmente contenidos en un mapa de altimetrías).
- ✓ Ganancia de la antena.
- ✓ Modelo de propagación.
- ✓ Dirección e inclinación de la antena.
- ✓ Frecuencia.

Se pueden crear otras predicciones basadas en la cobertura para resaltar diferentes aspectos de la red. Un gráfico de "re-cobertura" (solapamiento de la señal) muestra dónde se recibe una señal de trabajo desde más de una estación base. En muchos diseños de red, esto puede ser una mala característica de diseño ya que potencialmente muestra desperdicio y puede conducir a interferencias. En otras redes, la cobertura redundante puede ser altamente deseable [30].

Predicciones de tráfico

También conocidas como estudios de capacidad, las predicciones de tráfico pueden basarse en la cobertura de un sitio, o en la mejor señal (mejor servidor) recibida por un terminal móvil.

Las predicciones de cobertura se utilizan para examinar la demanda de tráfico en sistemas de un único sitio y las predicciones de mejor servidor se utilizan para sistemas en los que el móvil elegirá automáticamente la señal más fuerte al seleccionar con qué estación base se comunicará [30].

Las predicciones de tráfico sirven para ajustar la capacidad del transmisor de acuerdo con la demanda recibida de los usuarios.

Predicciones de interferencia

También conocidas como estudios de calidad. En este procedimiento, el sistema debe ser capaz de modelar las interacciones entre los transmisores de radio y receptores, potencialmente cuando los sistemas son diferentes y sólo pueden afectar a una parte del ancho

de banda del receptor [30].

Las predicciones de interferencia sirven para tomar decisiones en cuanto al método de coordinación de interferencias a utilizar.

Simulaciones

Una simulación es una instantánea de la red en un momento determinado [15]. Las simulaciones de una red de radio están basadas (por ejemplo) en simulaciones Monte Carlo, en donde cierto número de usuarios es ubicado en una zona de cobertura y distribuido de forma homogénea y no homogénea [24], de acuerdo con la información de tráfico de usuarios disponible, normalmente en mapas de tráfico.

Las simulaciones son necesarias para tener una estimación de la carga de tráfico de la red. Como resultado, se tendrá información acerca del número de usuarios que son atendidos o rechazados.

Evolución de las Tecnologías de Redes Celulares

Las comunicaciones móviles han evolucionado de manera sorprendente. En las últimas décadas, se ha pasado de ser una tecnología cara para unos pocos individuos seleccionados a sistemas ubicuos de hoy utilizados por la mayoría de la población mundial [31].

La evolución de las redes celulares se divide en generaciones. Cada generación incluye un conjunto de tecnologías y un conjunto específico de casos de uso. De manera general, La primera y segunda tecnologías están enfocadas a la transmisión de voz. La segunda generación, por su soporte digital incluye los primeros protocolos de transmisión de datos. Luego, la tercera y cuarta generaciones, están enfocadas a las comunicaciones móviles por banda ancha, y a futuro inmediato, la quinta generación que prevé una sociedad en red, con todas las disposiciones que ello implica.

Nota: Algunas fuentes subdividen las generaciones en sub-generaciones o etapas, por ejemplo: 2G en 2.5G, 2.9G, etc. Habiendo discordia en la ubicación exacta de estas etapas dentro de cada generación. Por esta razón, en el presente documento los protocolos se clasifican nada más por generación.

Primera Generación 1G

La primera generación de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad (2400 bauds), la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad (basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access) y la seguridad no existía [32].

En cuanto a las tecnologías de la primera generación, no había estándares globales, sino que, en diferentes partes del mundo, grandes empresas se dedicaron a desarrollar sus propias tecnologías habiendo grandes diferencias entre ellas.

Entre las tecnologías de la primera generación podemos mencionar:

AMPS (Advanced Mobile Phone System)

Servicio avanzado de Telefonía Móvil. Es un estándar original para la operación de sistemas celulares analógicos. Opera en un rango de frecuencias de 800 MHz con un ancho de banda de canal de 30 kHz [18]. Fue inicialmente un estándar de los Estados Unidos, pero fue adoptado posteriormente por muchos otros países como Australia, Corea del Sur, Singapur y Brasil [33].

AMPS se basaba en la tecnología FDMA para permitir múltiples usuarios en una celda o un sector celular. Inicialmente, el tamaño de las celdas no estaba fijo y se utilizó un radio de ocho millas en las áreas urbanas y un radio de veinticinco millas en las áreas rurales [34].

NMT (Nordisk Mobil Telefoni)

Estándar de comunicaciones móviles analógicas desarrollado por las administraciones de telecomunicaciones en los países escandinavos a principios de los años ochenta. Se implantó en las bandas de 450 y 900 MHz [1].

Inicialmente, el NMT se lanzó a 450 MHz, permitiendo una buena penetración en los grandes bosques de Suecia y Noruega. Más tarde se desplegó en la banda 900 MHz (Banda que hoy se usa en GSM). Al ser uno de los primeros sistemas celulares totalmente automáticos del mundo (también tenía roaming internacional), el estándar NMT se extendió a otros países de Europa, Asia y Australia [35].

TACS (Total Access Communication System)

Sistema de comunicaciones móviles celulares analógicas surgido como modificación del AMPS [1]. Fue introducido inicialmente en Reino Unido y posteriormente fue desplegado en muchos otros países como Italia, España y los Emiratos Árabes Unidos. Opera en la banda de 900 MHz. Una variación de TACS, conocido como JTACS, fue desplegado más adelante en Japón [35].

Segunda Generación 2G

La segunda generación llegó hasta 1990, y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136), CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), ésta última utilizada en Japón [32].

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz, pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communications Services) [32].

Los protocolos implementados en la Segunda Generación son:

GSM (Global System for Mobile Communications)

En español sistema global para las comunicaciones móviles, es un estándar de telefonía móvil digital que es usado ampliamente en muchas partes del mundo [36]. Una de las razones del éxito de GSM como sistema móvil se debe a que fue la primera red que facilitó la itinerancia internacional [1].

La Especificación Técnica para GSM versión 5.5, publicada por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones [37], define tres bandas de frecuencia para GSM.

P-GSM (GSM estándar o primario): Para esta banda, se requiere que los sistemas utilicen las siguientes bandas de frecuencia:

890 - 915 MHz: Cuando el terminal móvil transmite y la estación base recibe.

935 - 960 MHz: Cuando la estación base transmite y el terminal móvil recibe.

E-GSM (GSM extendido): Para esta banda, se requiere que los sistemas utilicen las siguientes bandas de frecuencia:

880 - 915 MHz: Cuando el terminal móvil transmite y la estación base recibe.

925 - 960 MHz: Cuando la estación base transmite y el terminal móvil recibe.

DCS1800 (Digital Cellular Service 1800): Para esta banda, se requiere que los sistemas utilicen las siguientes bandas de frecuencia:

1710 - 1785 MHz: Cuando el terminal móvil transmite y la estación base recibe.

1805 - 1880 MHz: Cuando la estación base transmite y el terminal móvil recibe.

Existe, además una variante de GSM, cuyo uso está enfocado al sistema ferroviario. Sus especificaciones han sido publicadas por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones [38].

GSM-R (GSM-Railway): Es un Sistema de comunicaciones inalámbricas digital desarrollado específicamente para comunicación y aplicaciones ferroviarias. Se garantiza su correcto funcionamiento hasta velocidades de 500 km/h. Sirve a modo de baliza móvil, enviando continuamente la posición y estado del tren a los centros de tráfico centralizado (CTC). El sistema R-GSM, está desarrollado a partir de la tecnología GSM y se beneficia de la herencia de dicha tecnología. No obstante, dispone de una banda de frecuencias separada: entre 876 MHz y 880 MHz en el enlace ascendente y 921 MHz a 925 MHz en el enlace descendente, lo que permite evitar cualquier tipo de interferencia con las redes GSM públicas. [39].

GPRS (General Packet Radio Service)

Servicio general de paquetes vía radio. El GPRS permite al suscriptor el servicio de enviar y recibir datos en un modo de transferencia de paquetes de extremo a extremo, sin utilizar recursos de red en modo de circuito conmutado.

GPRS permite un costo efectivo y eficiente en el uso de recursos de red para aplicaciones de datos en modo de paquetes, por ejemplo, para aplicaciones que exhiben una o más de las

siguientes características:

- Transmisiones intermitentes, no periódicas (es decir, a ráfagas) de datos, donde el tiempo entre transmisiones sucesivas excede en gran medida el tiempo de transferencia de la media.
- Transmisiones frecuentes de pequeñas cantidades de datos, por ejemplo, las transacciones que consisten en menos de 500 octetos de datos que se producen a un ritmo de hasta varias transacciones por minuto.
- Transmisión infrecuente de grandes volúmenes de datos, por ejemplo, las transacciones que consisten en varios kilobytes de datos que se producen a un ritmo de hasta varias transacciones por hora [40].

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

En español Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM. También conocida como EGPRS (Enhanced GPRS), en español GPRS Mejorado. Es el paso en la evolución de GSM-GPRS e IS-136. El objetivo de la nueva tecnología es aumentar las velocidades de transmisión de datos y la eficiencia del espectro y facilitar las nuevas aplicaciones y el aumento de capacidad para el uso móvil [18].

EDGE permite la transmisión de datos a velocidades de hasta 384 kbps en el paquete de modo conmutado; Se requieren estos rendimientos para soportar servicios multimedia. Esto se logra en el mismo ancho de banda GSM existentes de 800, 900, 1800 y 1900 MHz bandas de frecuencia.

La idea detrás de EDGE es aumentar la velocidad de datos que se puede lograr con el portador de radio GSM 200 KHz cambiando el tipo de modulación utilizado mientras que todavía trabaja con GSM existente y la red GPRS nodes. La nueva modulación que se introduce es la de ocho estados modulación por desplazamiento de fase (8-PSK). El concepto básico se restringe a tener el menor impacto posible sobre las redes centrales.

EDGE es considerado en Europa como un estándar de generación 2,5 (2.5G) que es visto como una transición de 2G a 3G (segunda generación y tercera generación de redes móviles). No se necesitan nuevas licencias de operador para EDGE. Puesto que esta función vuelve a utilizar el espectro existente, representa una solución de bajo costo para los operadores que desean ofrecer servicios multimedia en sus redes GSM/GPRS. Sin embargo, en algunos países como los Estados Unidos, para los operadores que no tienen licencias UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), EDGE puede proporcionar servicios multimedia que serán llevados por las redes 3G y que no pueden ser soportados por el sistema GPRS. Por eso EDGE también puede ser visto como un estándar 3G. EDGE no solo se puede considerar como una solución de bajo costo, sino que también puede ser utilizado por los operadores que ya tienen una red GPRS y una licencia UMTS para proporcionar servicios 3G dentro de las áreas donde una cobertura UMTS no sería rentable [41] .

Canales lógicos en GSM

Los canales lógicos pueden ser usados para enlazar la capa física con la de datos dentro de las capas de la red GSM [18]. Los canales lógicos se dividen en dos categorías: Canales de control y canales de tráfico.

BCCH: (The Broadcast Control Channel Carrier) por sus siglas en Inglés. Es el soporte del canal de control de difusión [25]. Contiene información útil para emitir/recibir solicitudes de llamada. Esta información es común a todos los MS servidos por una misma BTS (misma célula de cobertura) [42].

TCH: (The default traffic carrier) Es el portador de tráfico predeterminado [25]. Se utiliza para la transmisión de datos de carga útil de usuario (voz, datos). TCH no lleva ninguna información de control de Capa 3. La comunicación a través de un TCH puede ser por conmutación de circuitos o por conmutación de paquetes. En el caso de conmutación de circuitos, el TCH proporciona una conexión de datos transparente o una conexión que se trata especialmente de acuerdo con el servicio realizado (por ejemplo, telefonía). Para el modo de conmutación de paquetes, el TCH transporta datos de usuario de las Capas 2 y 3 de OSI de acuerdo con las recomendaciones de los protocolos de paquetes estándar o norma X.25 [43].

Se puede utilizar para transmitir una señal de voz digitalizada o servicios de datos con conmutación de circuitos de hasta 14.4 kbit/s [19].

Arquitectura de una red 2G

La arquitectura básica de una red 2G, (sólo llamadas), se compone de tres partes principales: La estación móvil (MS), el subsistema de estaciones base (BSS) y el subsistema de red (NSS). Como se muestra en la Ilustración 4⁶

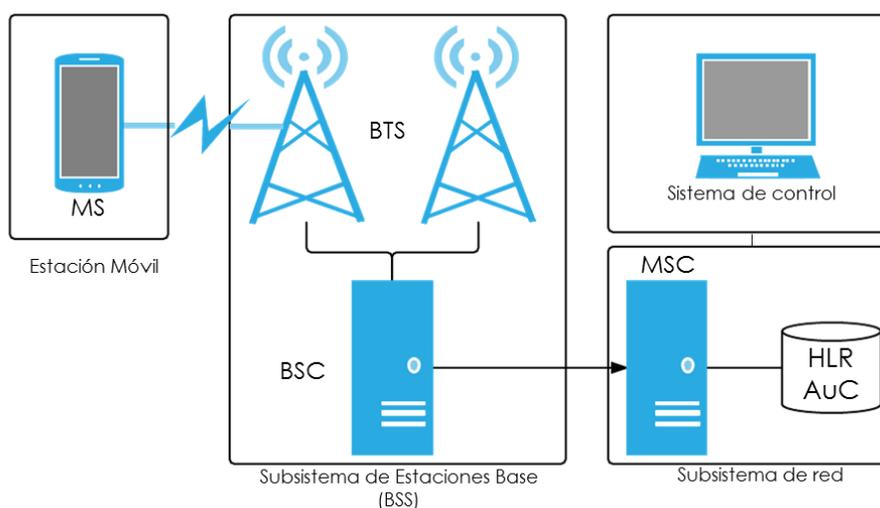


Ilustración 4 - Arquitectura de una red GSM (2G)

⁶ Imagen tomada de <http://jfranklin.me/LTE/IntroToCellularSecurity-20140121.pdf>, último acceso el 5 de noviembre de 2016.

Tercera generación 3G

La 3G es tipificada por la convergencia de la voz y datos con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan más altas velocidades de información enfocados para aplicaciones más allá de la voz tales como audio (MP3), video en movimiento, video conferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Se esperaba que las redes 3G empezasen a operar en el 2001 en Japón por NTT DoCoMo, en Europa y parte de Asia en 2002, posteriormente en Estados Unidos y otros países.

Los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran UMTS (Universal Mobile Telephone Service), cdma2000, IMT-2000, ARIB (3GPP), UWC-136, entre otras.

El impulso de los estándares de la 3G está siendo apoyado por la ITU (International Telecommunications Union) y a este esfuerzo se le conoce como IMT-2000 (International Mobile Telephone) [32].

Los estándares pertenecientes a esta generación son los siguientes:

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

En español: Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles. Es una evolución del sistema popular de la red móvil de Telecomunicaciones Global para Comunicaciones Móviles (GSM). En comparación con GSM, UMTS ofrece un rendimiento mucho más alto en el rango de Megabit (en comparación con Kilobit) y una variedad mucho más grande de los servicios, por ejemplo, navegar por Internet, servicios de información, aplicaciones de televisión móvil, etc. [44].

UMTS como un sistema es un paso evolutivo para las llamadas de voz y datos de las diferentes tasas de transmisión medido en Kbps o Mbps. La idea clave de UMTS es ser tan dinámica como sea posible y utilizar los recursos del sistema para diferentes propósitos. Las llamadas de voz se extienden de baja calidad a la alta calidad (6-12 Kbps, por ejemplo), en función del perfil de usuario. Los servicios de datos también varían (de 0 a 2 Mbps), dependiendo de las necesidades de aplicación.

Varias aplicaciones de datos como video streaming y juegos están siendo muy comercializadas, a pesar de que las aplicaciones más esperadas para hoy son las soluciones de servicio de mensajería multimedia (MMS) y los medios de comunicación, y el principal objetivo de UMTS es la reducción del tiempo de respuesta en estas aplicaciones de transmisión de datos [24].

HSPA (High-Speed Packet Access)

En español “acceso de paquetes de alta velocidad” [45]. Se divide en dos protocolos: HSDPA y HSUPA.

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)

En español, alta velocidad de acceso a paquetes de enlace descendente. Fue estandarizado como parte del quinto lanzamiento de 3GPP con la primera versión de especificación en marzo 2002. La idea clave del concepto HSDPA es aumentar el rendimiento de datos de paquetes con los métodos ya conocidos del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) y velocidades de datos mejoradas para los estándares evolución global (EDGE), incluyendo una retransmisión combinada con la adaptación del enlace y la capa física [46].

HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)

En español, alta velocidad de acceso de paquetes de enlace ascendente. Fue parte del sexto lanzamiento de 3GPP con la primera versión de la especificación en diciembre de 2004. HSUPA se conoce oficialmente como canal dedicado mejorado. La introducción de HSUPA permite velocidades de enlace ascendente para alcanzar 1,4 Mbps, con posterior liberación previsto en 5,76 Mbps. Es la quinta revisión y es un software y hardware de actualización para UMTS. Sin embargo, esto es hacia atrás compatible con la versión 99, Versión 4, y con el quinto lanzamiento de sistemas UMTS [47].

Arquitectura de una red 3G

La arquitectura de una red 3G incluye la funcionalidad de conmutación de circuitos que ya existía en 2G, más la funcionalidad de conmutación de paquetes.

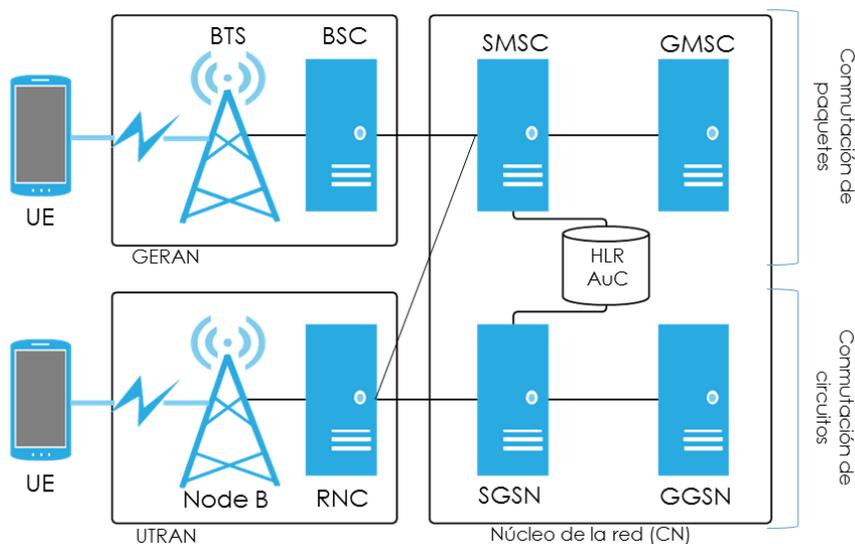


Ilustración 5 - Arquitectura de una red UMTS (3G)

En UMTS, la interfaz de acceso radio se llama UTRA, y la red de acceso radio se llama UTRAN.

UTRA (Acceso de Radio Terrestre UMTS): Es la interfaz de radio de UMTS. La interfaz radio UMTS tiene dos modos diferentes, un modo UMTS FDD y un modo UMTS TDD [48].

UTRAN (“UMTS Terrestrial Radio Access Network”): Es la red de acceso al Sistema UMTS y se compone de los elementos de red destinados a la gestión de recursos radio. En muchos aspectos es similar al subsistema de estaciones base o BSS de GSM, apareciendo nuevos elementos en la red debido a la utilización de ATM [9].

Cuarta generación 4G

El sistema 4G es un reemplazo completo de las redes actuales y es capaz de proporcionar una solución IP completa y segura, donde la voz, audio y datos multimedia pueden darse a los usuarios en cualquier momento y en cualquier lugar con velocidades mucho más altas que las generaciones anteriores. Algunas características de 4G son:

- La intención de proporcionar servicios de vídeo de alta calidad que conducen a velocidades de transferencia de datos de alrededor de 100 Mbps.
- La tecnología 4G ofrece velocidades de transmisión de más de 20 Mbps.
- Es posible navegar entre diferentes redes y tecnologías diferentes.

4G, básicamente, se asemeja a un conglomerado de tecnologías existentes y es una convergencia de más de una tecnología [20].

LTE (Long Term Evolution)

En español Evolución a largo plazo, se marca como la cuarta generación de tecnología móvil diseñada para proporcionar velocidades máximas de enlace ascendente de al menos 50 Mbps y velocidades máximas de enlace descendente de al menos 100 Mbps. Las especificaciones soportan dos métodos de acceso al medio, duplicación por división de frecuencias y duplicación por división de tiempo. Diseñado como una súper arquitectura de red basada en IP que puede sustituir a la red principal GPRS y asegurar el apoyo y la movilidad entre, algunos sistemas no-3GPP, tales como GPRS y WiMax [20].

LTE ha sido diseñado para mejorar aún más los servicios y aplicaciones móviles de valor añadido que apoyan la banca, los juegos, las categorías de salud, etc. Incluso la experiencia con las aplicaciones más exigentes, tales como la televisión interactiva, video blogging móvil, juegos avanzados, etc. Las principales ventajas con LTE son de alto rendimiento, baja latencia, “conecta y reproduce”, además de mejorar la experiencia del usuario final y la arquitectura sencilla que resulta en gastos de operación bajo [20].

LTE ha sido la tecnología de redes inalámbricas de banda ancha más exitosa, sirviendo a más de un billón de usuario a inicios de 2016, y manejando una amplia cantidad de aplicaciones [31].

- LTE puede ofrecer altas tasas de datos para el usuario final.
- El aumento de velocidad de datos máxima, DL 3 Gbps, UL 1,5 Gbps.
- Eficiencia espectral superior, desde un máximo de 16 bps / Hz en el octavo lanzamiento

(R8, o Release 8) a 30 bps / Hz en el décimo lanzamiento (R10 o Release 10).

- Aumento del número de abonados activos simultáneamente.
- Mejora del rendimiento en los bordes de células, por ejemplo, para el enlace descendente de dos portadoras MIMO, al menos 2,40 bps / Hz / célula [47].

LTE-A (LTE Advanced)

En español LTE avanzado, es estandarizado por la 3rd Generation Partnership Project (3GPP) en su onceavo lanzamiento como una mejora al estándar Long Term Evolution (LTE). LTE-A tiene varios atributos clave asociados con ella:

- Agregación de portadora tanto intra como inter-frecuencia, lo que aumenta rendimientos tanto en el enlace descendente y enlace ascendente.
- Multipunto coordinado (CoMP).
- Canal de control de enlace descendente físico mejorado (E-PDCH); que se requiere para apoyar CoMP incluyendo el aumento de la capacidad del canal de control, dominio de la frecuencia Inter-celular, control de interferencia Coordinado (ICIC), y características mejoradas como MIMO [47].

El sistema LTE-Advanced posee funcionalidades avanzadas de gestión de recursos de radio, con especial énfasis en la flexibilidad y el oportunismo y las técnicas avanzadas de antena, donde se aplicarán múltiples antenas y técnicas MIMO de múltiples celdas.

LTE-Advanced permite una velocidad máxima de datos de 1 Gbps para el enlace descendente, y un mínimo de 100 Mbps para el enlace ascendente. La velocidad de datos de enlace ascendente de destino, sin embargo, es de 500 Mbps. Para latencias, los requisitos son 50 ms para estado inactivo a conectado y 10 ms para latente a conectado. El sistema se optimiza para movilidad de 0-190 km/h, y soporta hasta 500 km/h, dependiendo de la banda de trabajo. Para la eficiencia espectral, los requisitos de LTE-Advanced generalmente superan a los de IMT Advanced, por ejemplo, el sistema se dirige a un máximo de 30 bps/Hz para el enlace descendente y 15 bps/Hz para el enlace ascendente, mientras que el espectro eficiente promedio se espera que llegue a 3,7 (configuración 4 x 4) para el enlace descendente y 2,0 (configuración 2 x 4) para el enlace ascendente. Tiene soporte para TDD y FDD, incluyendo la mitad dúplex FDD, se hace posible [49].

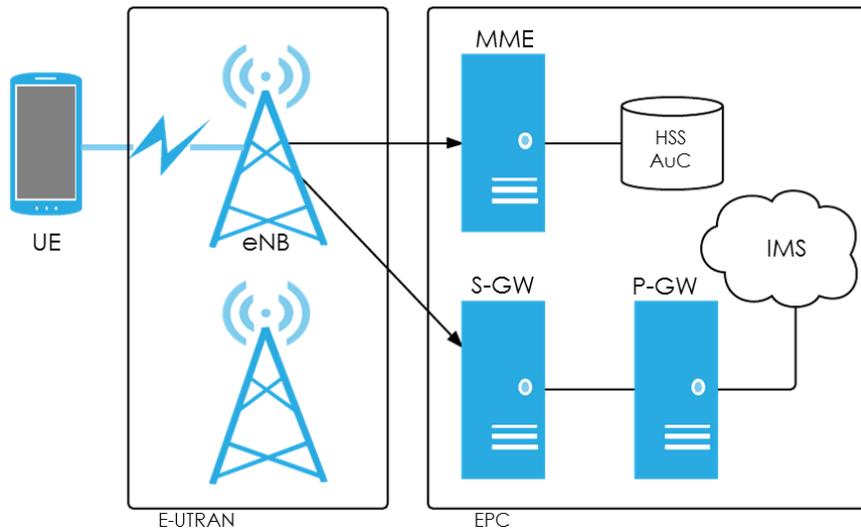


Ilustración 6 - Arquitectura de una red LTE (4G)

En LTE, la interfaz de acceso radio se llama E-UTRA, y la red de acceso radio se llama E-UTRAN.

E-UTRA: E-UTRA es la interfaz aérea de LTE. Es un acrónimo de evolución de UMTS Terrestrial Radio Access, también conocida como el elemento de trabajo 3GPP en el Long Term Evolution (LTE), es también conocido como el acceso de radio terrestre Universal Evolucionado (E-UTRA) en las primeras versiones de especificación LTE del 3GPP [50].

E-UTRAN: La red de acceso de radio terrestre UMTS evolucionado (E-UTRAN) se encarga de las comunicaciones de radio entre el móvil y el núcleo de paquetes evolucionado y sólo tiene un componente, el Nodo B evolucionado (eNB). Cada eNB es una estación base que controla los móviles en una o más células. Un móvil se comunica con sólo una estación base y una célula a la vez. La estación base que se está comunicando con un móvil se conoce como eNB [50].

Quinta generación 5G (El futuro inmediato)

Aunque LTE está aún en una fase relativamente temprana desde su lanzamiento, la industria ya está avanzando en el camino hacia la próxima generación de comunicaciones móviles 5G.

La conectividad de banda ancha móvil es, y seguirá siendo, una parte importante de la futura comunicación celular, pero más que banda ancha, se maneja el concepto de “Sociedad en Red”, lo cual prevé el acceso a aplicaciones de banda ancha por todos los sectores de la sociedad (La agricultura, la industria, etc.). Las redes inalámbricas futuras son también de una gama significativamente más amplia de casos de uso [31].

En esencia, 5G se debe ver como una plataforma que permite la conectividad inalámbrica para todo tipo de servicios, tanto existentes como los futuros servicios (Que aún no se conocen). Más

allá de ser redes inalámbricas de banda ancha móvil, se proporcionará conectividad en cualquier lugar, en cualquier momento, a cualquier persona o cosa [31].

No se tiene muchos datos técnicos de la quinta generación, no obstante, algunas fuentes sugieren que consistirá en la evolución de LTE y nuevas formas de acceso radio [31].

Otras tecnologías de redes celulares

WIMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access, en español interoperabilidad mundial para acceso por microondas, es una tecnología de telecomunicaciones que provee la transmisión inalámbrica de datos en una variedad de formas, que van desde enlaces punto a punto hasta el pleno acceso de tipo celular móvil. El foro WiMAX (organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes) describe WiMAX como una tecnología basada en estándares que permite la entrega de acceso de banda ancha inalámbrica de última milla como una alternativa al cable y línea de abonado digital (DSL).

WiMAX es un servicio de red de área metropolitana que normalmente utiliza una o más estaciones base que pueden proporcionar servicio a los usuarios dentro de un radio de 30 millas para la distribución de datos inalámbricos de banda ancha sobre amplias áreas geográficas. WiMAX ofrece un rico conjunto de características con una gran cantidad de flexibilidad en términos de opciones de implementación y ofertas de servicios potenciales. Puede proporcionar dos formas de servicios inalámbricos:

Sin línea de visión de servicio (NLoS) - Se trata de una especie de servicio WiFi. Aquí una pequeña antena en el equipo se conecta a la torre WiMAX. En este modo, WiMAX utiliza un rango de frecuencia inferior (~ 2 GHz a 11 GHz) similar a WiFi.

Servicio de línea de visión directa (LOS) - aquí unos puntos fijos de antena de plato están directamente en la torre WiMAX desde un tejado o un poste. La conexión LoS es más fuerte y más estable, por lo que es capaz de enviar una gran cantidad de datos con menos errores. LoS transmisiones utilizan frecuencias más altas, con rangos que alcanzan posiblemente los 66 GHz [51].

La interoperabilidad mundial para acceso de microondas (WiMAX) es un método de acceso inalámbrico de banda ancha que se basa en los datos sobre especificación de interfaz de servicio de cable (DOCSIS) y utiliza el protocolo OFDMA como el esquema de modulación. WiMAX no es un estándar 3GPP, pero si un estándar IEEE. WiMAX se basa en el conjunto de IEEE 802.16 de estándares para un sistema basado en paquetes IP y se puede implementar FDD o TDD como técnicas de duplexación. WiMAX es también un servicio de banda ancha gratuito como Wi-Fi (IEEE 802.11).

Los estándares de WiMAX IEEE 802.16 cubren los siguientes escenarios:

- WiMAX para soluciones de backhaul (punto a punto).
- WiMAX acceso inalámbrico fijo (punto a multipunto).

- WiMAX móvil (movilidad).

WiMAX móvil también se clasifica como una tecnología de acceso de radio inalámbrica 3G (IMT-2000) y 4G (IMT-2000 avanzado). WiMAX 802.16e entra en la clasificación de 3G, mientras que el uso de WiMAX 802.16m se clasifica como una tecnología 4G.

WiMAX, que originalmente comenzó como una red inalámbrica fija punto a multipunto inalámbrico, fue referido anteriormente como Sistemas de Distribución Multipunto Local (LMDS). Sin embargo, los LMDS fueron diseñados y desplegados antes que la serie estándar IEEE 802.16 fuese establecida. Además, LMDS fue diseñado para lugares fijos que proporcionan acceso de última milla de banda ancha usando una variedad de protocolos. Sin embargo, con el advenimiento de IEEE 802.16, la adaptación de la tecnología WiMAX ha mejorado en gran medida, ya que hay protocolos propietarios de proveedores impulsado por más tiempo, pero con una solución basada en estándares [47].

Redes Multi-RAT

En cada generación, las tecnologías tienen arquitecturas diferentes. En la vida real, las compañías telefónicas operan con más de una tecnología a la vez, para brindar diferentes servicios a dispositivos con diferentes capacidades.

En la Tabla 3 se hace una comparación de los nombres de los principales elementos de cada una de las tecnologías implementadas en las prácticas de laboratorio.

Tabla 3 - Comparación de nombres de elementos de una red de radio

GSM	GPRS	UMTS	LTE	WiMAX
BSS	GERAN	UTRAN	E-UTRAN	ASN
BSC	BSC	RNC	RNC	ASN-GW
BTS	BTS	NodeB	eNodeB	BS
MS	MS	UE	UE	MS

Cuando se implementa una red que soporte múltiples estándares, se tienen las siguientes ventajas [16]:

- De cara al usuario, éste puede acceder a diferentes servicios con un único dispositivo.
- La red de acceso, puede implementar transceptores multi-estándar para reutilizar el hardware tanto como sea posible, manteniendo un rendimiento satisfactorio, y reducir de manera significativa los costos, en comparación con el uso de transceptores de único estándar.

La implementación de redes Multi-RAT también supone la optimización de los equipos de control de la red, de tal manera que fusione RNC, BSC, Wi-Fi, entre otros.

SRC (Single Radio Controller) es la entidad controladora de red unificada que combina la funcionalidad de BSC, RNC, Wi-Fi AC y eCO, y provee la unificación de la administración de recursos de radio multi-estándar y la administración de tráfico multi-estándar. SRC una un hardware en común, y tiene capacidades configurables en el software [52]. Además, provee

acceso a una red central unificada.

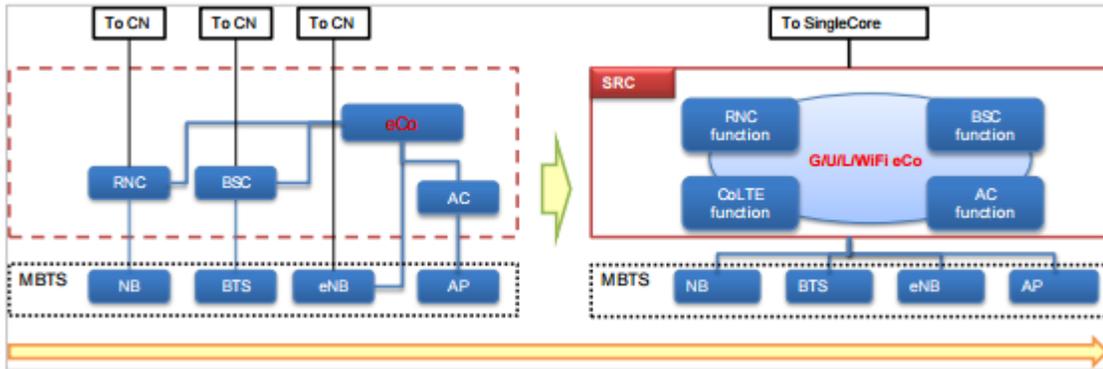


Ilustración 7 - Single Radio Controller en una red Multi-RAT⁷

Técnicas de control de acceso a la interfaz radio

El acceso al medio (en este caso, el espectro radioeléctrico), se controla de acuerdo con distintos estándares que definen la forma en que se transmite la información a través del medio.

Diferentes tecnologías usan distintas políticas de acceso. Entre las técnicas más conocidas tenemos:

Técnicas de duplexación

La duplexación se refiere a la capacidad de los dispositivos comunicarse de manera bidireccional (Transmisión y recepción) de manera simultánea o concurrente. Al sentido de la comunicación que permite que el terminal móvil envíe datos a la estación base, se llama enlace ascendente (UL, Uplink), y al sentido de la comunicación que permite que el terminal móvil reciba datos de la estación base, se llama enlace descendente (DL, Downlink) [27].

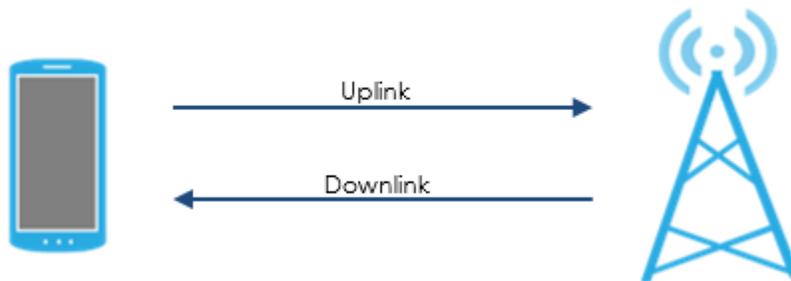


Ilustración 8 - Enlace de bajada (Downlink) y enlace de subida (Uplink)

⁷ Ilustración 7 tomada del artículo Multi-RAT Network Architecture [52]

FDD (Frequency Division Duplexing)

En español: Duplexación por división de frecuencias. Es una técnica que consiste en la utilización de dos portadoras distintas en la transmisión, una para el enlace ascendente y otra para el enlace descendente [1].

La técnica de división de frecuencia consiste en la subdivisión de la banda de frecuencia disponible total, de modo que a cada emisor se le asigna su propia banda de frecuencia más estrecha. Los emisores de las células adyacentes no pueden utilizar la misma frecuencia. Esta técnica, aunque simple, es sin embargo un tanto inflexible, ya que a cada célula se le asigna estáticamente una sub-banda de frecuencia, y esta asignación se debe planificar cuidadosamente cuando la red es puesta. Cuando, debido a la imprevista de usuario y la distribución de la carga, la estructura celular se cambia, por ejemplo, dividiendo una célula en dos, la asignación de frecuencia debe hacerse de nuevo. Otra inflexibilidad e ineficiencia inherente a esta técnica es que a cada remitente se le da el mismo ancho de banda [44] .

TDD (Time Division Duplexing)

En español: Duplexación por división de tiempo. Esta técnica consiste en la división por código y tiempo. Existe una portadora con intervalos temporales de transición que se reparten entre distintos usuarios, y a la vez entre los dos sentidos de la transmisión (ascendente y descendente) [1].

Con la técnica de división de tiempo, todos los emisores utilizan la misma banda de frecuencia, pero en tiempos diferentes. Una posibilidad es que todos los emisores están sincronizados con el mismo reloj y transmiten en diferentes intervalos de tiempo que son asignados por una entidad central, por ejemplo, el punto de acceso. Un reto para esta técnica es lograr la sincronización de los emisores, en particular en la dirección de enlace ascendente. Una ventaja de esta técnica es que los intervalos de tiempo se pueden asignar más flexiblemente que las frecuencias, lo que simplifica la red, planificación y cambio de ancho de banda entre los remitentes. Si se utiliza este tipo de división en el tiempo para la separación de enlace ascendente y enlace descendente, se llama Time Division Duplex (TDD), duplicación por división de tiempo [44] .

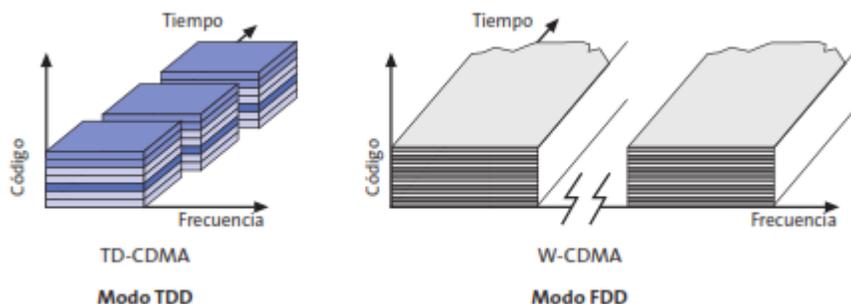


Ilustración 9 - Comparación entre FDD y TDD

Técnicas de multiplexación

La multiplexación es una técnica en la cual se combinan múltiples señales para su transmisión simultánea a través de medios de comunicación compartidos [2].

FDM (Frequency Division Multiplexing)

En español: Multiplexación por división de frecuencias. Es una técnica muy común para enviar muchas señales a través de un mismo canal físico, extendiendo el concepto de modulación en una única portadora por el uso de muchas subportadoras en el mismo canal [53], usando diferentes porciones del espectro de frecuencias disponibles para cada una. Consiste en la separación espectral para permitir la transmisión simultánea de señales de múltiples usuarios [54].

Usualmente, FDM requiere una banda de guarda entre las subportadoras moduladas, para prevenir que el espectro de una subportadora, interfiera con otra [53] [2].

TDM (Time Division Multiplexing)

En español: Multiplexación por división de tiempo. Esta técnica consiste en la división del tiempo en ranuras (slots). Cada componente de la señal está disponible en ranuras de tiempo [54].

Usualmente TDM requiere tiempos de guarda para evitar interferencias [2].

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

En español Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales. Es una modulación de portadora múltiple que se basa en múltiples sub-portadoras para la transmisión. Se diferencia del FDM tradicional, porque se basa en soportes individuales para la modulación, con una banda de guarda específica entre las portadoras OFDM. OFDM descompone los datos del usuario y transmite estos datos a través de múltiples flujos de datos; cada flujo de datos se modula en sub-portadoras individuales. Estas sub-portadoras ortogonales espaciadas se transmiten en paralelo. La clave con OFDM es distribuir una alta tasa de flujos de datos en múltiples sub-portadoras de ancho de banda bajo de forma paralela [35].

La separación ortogonal de estas sub-portadoras proporciona una utilización muy eficaz del espectro de frecuencias, como se muestra en la Ilustración 10; en LTE, la separación de sub-portadoras es 15 KHz.

OFDM tiene varias ventajas:

- El sistema mantiene una alta eficiencia del espectro, utilizando así los recursos de espectro escasos al máximo.
- Es Ideal para operar en un entorno de trayectos múltiples, lo que resulta ideal para el 95% del entorno móvil típico.
- El diseño del receptor y el ecualizador es mucho más simple en comparación con otras opciones.

- Soporta anchos de banda de radiofrecuencia adaptables, por lo tanto, los diferentes segmentos de canal son utilizados para LTE.

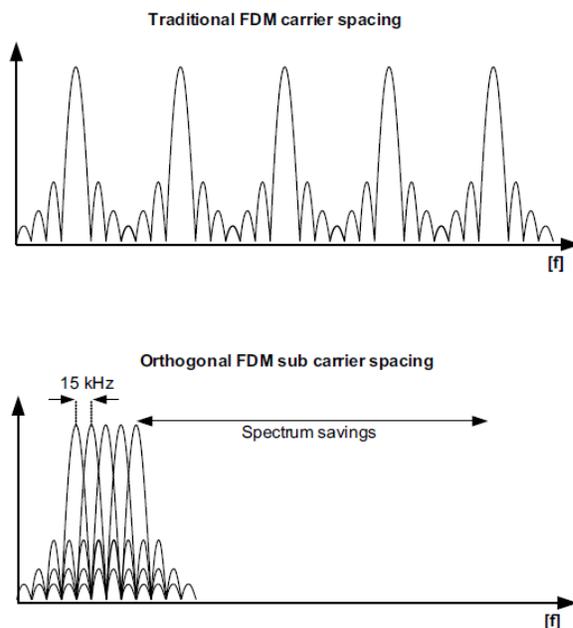


Ilustración 10 - Diferencia entre FDM y OFDM

Comparación de la separación del canal FDM tradicional y el espacio de las sub-portadoras ortogonales usadas en LTE (OFDM). Es mucho más eficiente el uso del espectro [35].

Técnicas de acceso múltiple

FDMA (Frequency Division Multiple Access)

En español Acceso Múltiple por División de Frecuencia, es la manera más común de acceso al medio, usada en múltiples protocolos de comunicación. Con FDMA, se asigna a los usuarios un canal de un conjunto limitado de canales ordenados en el dominio de la frecuencia [18].

TDMA (Time Division Multiple Access)

En español Acceso múltiple por división de tiempo, es una de las tecnologías que proveen de servicio digital inalámbrico usando multiplexación por división de tiempo. TDMA trabaja al dividir un canal de frecuencia de radio en slots (ranura) de tiempo, y asigna éstos hacia múltiples usuarios. Dos slots son asignados a un solo móvil. TDMA asigna un solo canal de frecuencia por un tiempo corto y después se mueve a otro canal. Las muestras digitales de un solo transmisor ocupan diversas ranuras de tiempo en varias bandas al mismo tiempo [18].

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

En español Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal. LTE utiliza OFDMA en la trayectoria de enlace descendente desde la estación base hasta el usuario. Este es un sistema

de múltiples portadoras que asigna recursos de radio a múltiples usuarios sobre un número de sub-portadoras espaciadas ortogonalmente en el espectro, como se muestra en la Ilustración 11. El uso de separación de canales ortogonales proporciona un uso muy eficiente del espectro y un buen aislamiento entre portadora. El sistema divide la portadora LTE en muchas sub-portadoras individuales espaciados 15 kHz de diferencia. Cada sub-portadora se modula individualmente usando QPSK, 16-QAM o 64-QAM dependiendo de la calidad del canal de radio. OFDMA asignará ancho de banda individual a los usuarios cuando necesiten ancho de banda. Las sub-portadoras no utilizadas no se transmiten reduciendo así la transmisión de energía, lo que limita las interferencias y el consumo de energía. OFDMA se basa en OFDM (Ilustración 11, se muestra con sólo cuatro sub-portadoras), pero difiere de OFDM cuando se trata de asignación de planificación y de recursos. En OFDM todo el ancho de banda pertenece a un único usuario por un período de tiempo; en OFDMA múltiples usuarios compartirán el mismo ancho de banda en cada punto en el tiempo.

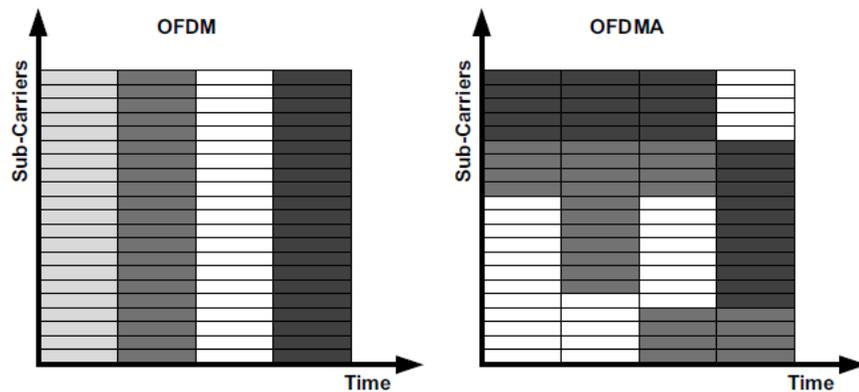


Ilustración 11 - Diferencia entre OFDM y OFDMA

Diferencia entre OFDM - OFDMA, cada bloque representa una ráfaga, cada tono de gris, un usuario. OFDMA permite el uso de toda la capacidad disponible, por lo que los usuarios pueden compartir el ancho de banda disponible.

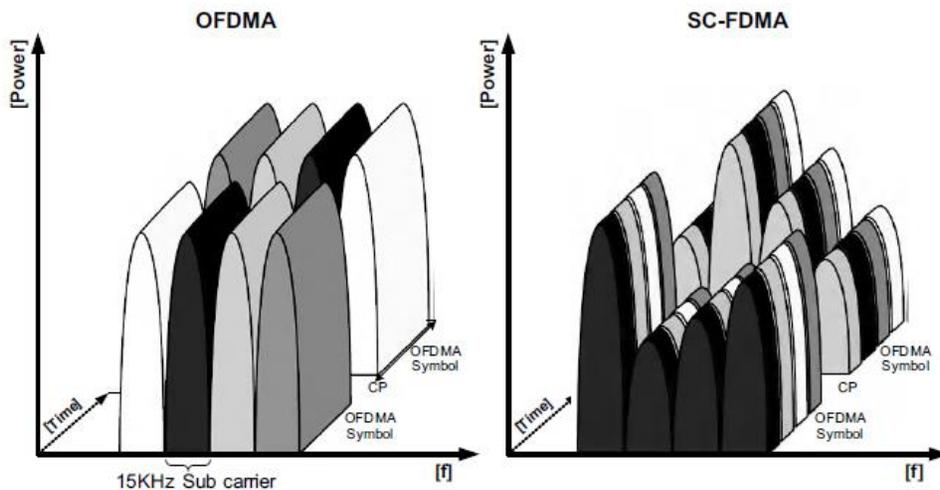


Ilustración 12 - Diferencia entre OFDMA y SC-FDMA

En OFDMA, cada sub-portadora lleva información única, en SC-FDMA la información se extiende sobre múltiples sub portadoras [35].

SC-FDMA (Single Carrier FDMA)

Es una técnica de modulación híbrida que combina las ventajas de los sistemas OFDMA, como la flexibilidad en la elección de las subportadoras y la robustez ante la propagación multicamino, con una relación PAPR (Potencia instantánea-potencia media, Peak to Average Power Ratio) mucho menor en comparación a la del sistema OFDMA nativo y que es característico de las modulaciones de portadora única. Esta combinación de características fue la razón para elegirla como técnica de acceso múltiple en el enlace ascendente del sistema LTE, especialmente la última ya que al ser una técnica utilizada en el terminal móvil no es posible requerir amplificadores que consuman mucha potencia y que como consecuencia reduzcan la duración de la batería del equipo [15].

MIMO (Múltiple-input Multiple-output)

En español: Múltiple entrada, múltiple salida. Es una técnica que consiste en el empleo de múltiples antenas en el transmisor y receptor, se constituye rentable en el enfoque a las comunicaciones inalámbricas de alto rendimiento. Como un elemento clave de los sistemas de comunicación inalámbrica de próxima generación, MIMO es capaz de soportar velocidades de datos significativamente más altos que el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) y las redes HSDPA de tercera Generación. Como se mencionó anteriormente un sistema MIMO emplea transmisores y receptores con múltiples antenas para la entrega de flujos de datos paralelos, tal como se ilustra en la Ilustración 13.

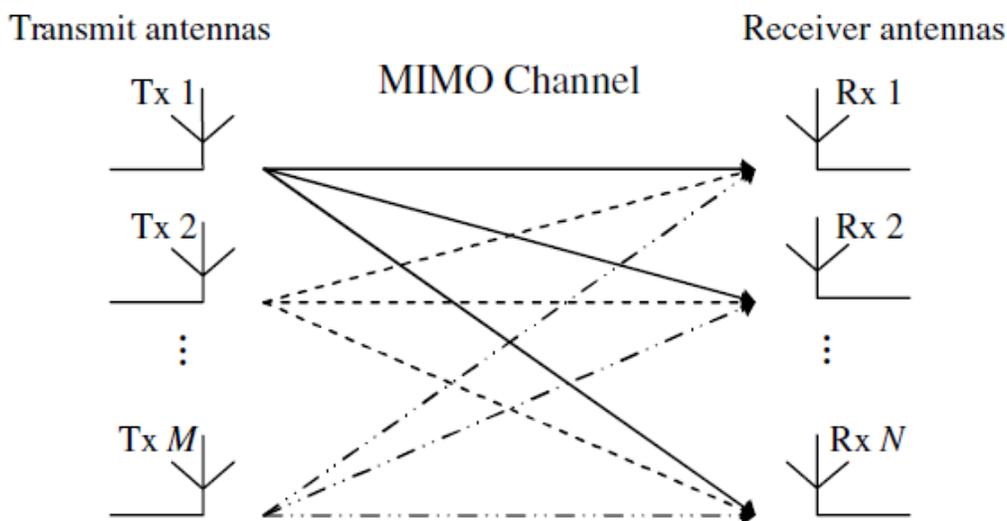


Ilustración 13 - Esquema de un sistema MIMO genérico con M transmisores y N receptores

Dado que la información se transmite a través de diferentes caminos, un sistema MIMO es capaz de explotar el transmisor y el receptor de diversas maneras, por lo tanto, se pueden mantener comunicaciones fiables. Además, con el advenimiento de múltiples antenas, se hace posible procesar / combinar conjuntamente las señales de múltiples antenas y así mejorar la integridad del sistema y / o del caudal. En pocas palabras, en comparación con sistemas de una sola entrada y de una sola salida (SISO), las dos ventajas más significativas de los sistemas

MIMO son:

1. Un aumento significativo tanto de la capacidad del sistema y la eficiencia espectral. La capacidad de un enlace inalámbrico aumenta linealmente con el mínimo del número de antenas de transmisor o receptor. La velocidad de datos se puede aumentar mediante la multiplexación espacial sin consumir más recursos de frecuencia y sin aumentar la potencia de transmisión total.
2. Reducción dramática de los efectos del desvanecimiento debido a la creciente diversidad. Esto es particularmente beneficioso cuando los diferentes canales se desvanecen de manera independiente [55].

CDMA (Code Division Multiple Access)

En español, Acceso Múltiple por división de código. Al igual que con FDMA, a cada celda se le asigna una banda de frecuencias que es dividida en dos partes, la mitad para el retorno (unidad móvil a estación base) y la otra mitad para la ida (estación base a unidad móvil). Para comunicaciones full-duplex, una unidad móvil utiliza tanto el canal de ida como el de retorno. La transmisión se produce en la forma de espectro expandido de secuencia directa (DS-SS, Direct-Sequence Spread Spectrum), el cual utiliza un código de minibits (chips) para incrementar la velocidad de datos de la transmisión, resultando en un ancho de banda aumentado para la señal.

El acceso múltiple se consigue asignando códigos de minibits ortogonales a los distintos usuarios, de tal forma que el receptor puede recuperar la transmisión de una unidad individual a partir de varias transmisiones [56].

CDMA2000

CDMA2000 se desarrolló como un estándar celular bajo el nombre IS-95 y más tarde se convirtió en una parte de la familia IMT-2000. Cuando se convirtió en una tecnología IMT-2000 más global, el nombre fue cambiado a CDMA2000 y el trabajo de especificación ha sido movido de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones de Estados Unidos (TIA) a 3GPP2. Al ser una organización hermana de 3GPP, 3GPP2 es responsable de las especificaciones CDMA2000.

El sistema inalámbrico CDMA2000 3G se basa en el sistema de código de división de múltiple acceso (CDMA). CDMA2000 entrega datos de banda ancha y servicios de voz a los usuarios de equipos móviles. La red CDMA2000 comprende tres partes principales: la red central (CN), la red de acceso radio (RAN) y la estación móvil (MS). La red central se descompone en dos partes, una interfaz con redes externas tales como conmutación de la red telefónica pública (PSTN) y la otra interfaz con la red basada en IP, tal como Internet. La estación móvil finaliza la trayectoria de radio en el lado del usuario de la red y permite a los abonados acceder a servicios de la red [48].

Técnicas de control de interferencias

De acuerdo con el origen de la interferencia, se puede clasificar en interferencia intracelular e interferencia intercelular. Interferencia intracelular

La interferencia intracelular es la interferencia de señales destinadas a otros usuarios dentro de la misma célula. A medida que el número de usuarios aumenta, la interferencia para cada usuario aumenta también, consecuentemente, la calidad de transmisión disminuye gradualmente [57].

La interferencia intracelular experimentada en una estación base es causada por los usuarios/conexiones en la misma celda [58], y se debe principalmente a la no ortogonalidad en los códigos asignados a los usuarios [59].

La interferencia intracelular se evita en sistemas puros FDMA y TDMA utilizando una separación de portadora y períodos de protección suficientemente grandes [58].

Interferencia intercelular

La interferencia intercelular es la interferencia causada a una celda por las celdas vecinas, ya sea celdas co-canales o celdas adyacentes. El rendimiento del enlace de bajada de las redes celulares es conocido por estar fuertemente limitado por la interferencia intercelular [60].

Para la gestión de interferencia intercelular, se usan las técnicas mencionadas a continuación:

FFR (Fractional Frequency Reuse)

En FFR, con el fin de asegurar que la interferencia mutua entre los usuarios y las estaciones base se mantenga por debajo de un nivel perjudicial, las células adyacentes utilizan diferentes frecuencias. De hecho, un conjunto de diferentes frecuencias se utiliza para cada grupo de células adyacentes. Cada grupo de frecuencias se vuelven a utilizar en un patrón regular sobre toda la zona de servicio. La distancia mínima entre los centros de dos células que utilizan la misma frecuencia (en diferentes grupos) está determinada por la elección del tamaño del clúster y el trazado de la agrupación de células. Esta distancia se denomina distancia de reutilización de frecuencias [61].

ICIC (Inter-Cell Interference Coordination)

Es un método para mejorar la calidad de la señal en el borde de las celdas, a través del uso de diferentes frecuencias, para la asignación de recursos en celdas que representen una posible interferencia entre sí. Existen dos categorías de técnicas de coordinación de interferencias usadas en los sistemas OFDMA dinámica y estática [25].

En la Ilustración 14⁸ podrá ver una comparación entre FFR con factor de reutilización 1 y 3, e ICIC.

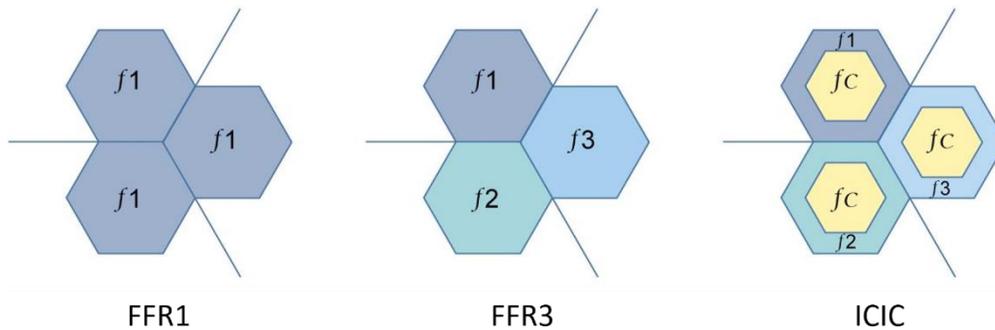


Ilustración 14 - Comparación entre FFR e ICIC

Modelos de propagación de ondas

La forma en que se propaga una onda electromagnética depende de varios aspectos tales como la frecuencia de propagación, los tipos de obstáculos que se presentan en el camino y también del ambiente en el cual se propagan. A través de los años se han diseñado varios modelos de propagación específicos para ambientes, frecuencias y aplicaciones específicas.

El objetivo de estos modelos es calcular las pérdidas de la señal en un ambiente determinado, para así predecir la potencia de la señal transmitida que se recibe a cierta distancia. También se debe tomar en cuenta la variación de la potencia del receptor.

Varios modelos de propagación han sido desarrollados para estimar la propagación de las ondas de radio con la mayor precisión posible. Los modelos más usados son dos Okumura-Hata y Walfish-Ikegami. El primero fue desarrollado para celdas grandes, por lo que se aplica principalmente en zonas rurales o suburbanas; el segundo está desarrollado para celdas pequeñas, y se aplica en zonas urbanas. También existen modelos específicos para pico celdas los cuales están desarrollados para ambientes interiores.

Dentro de los modelos de propagación más importantes tenemos:

Modelo Okumura-Hata

El modelo Okumura-Hata es un modelo de propagación muy conocido, y se puede aplicar para entornos con macro celdas para predecir la atenuación media de la señal de radio. Teniendo una componente, el modelo usa las pérdidas en el espacio libre. Este modelo es un modelo empírico, esto quiere decir que está basado en mediciones de campo. Okumura desarrolló el modelo con mediciones en la ciudad de Tokio y publicó los resultados en formato gráfico. Hata desarrolló los resultados obtenidos en ecuaciones. Este modelo puede ser aplicado sin factores de corrección en terrenos casi planos. La debilidad de este modelo es que no considera la reflexión y zonas de sombra.

⁸ Imagen tomada de http://www.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2011/no1/articles/201101/t20110117_201779.html último acceso el 6 de noviembre de 2016.

Modelo Cost-Hata

Este modelo es una extensión del modelo Okumura Hata, y nos permite trabajar en el rango de frecuencias desde 1.500 a 2.000 MHz.

Modelo Walfish-Ikegami

Es un modelo empírico de propagación para áreas urbanas, este modelo se aplica especialmente para micro-celdas, pero se puede usar para el cálculo de macro-celdas también.

Modelo Ray Tracing

Este modelo está limitado para trabajar solamente con micro celdas en áreas urbanas y es el único que considera las reflexiones y difracciones de la onda desde que sale de la estación base hasta llegar al móvil y viceversa, por lo cual es muy usado para ambientes interiores.

Gestión de la movilidad del usuario

La movilidad ha sido la clave del éxito de las redes inalámbricas [33].

Itinerancia (Roaming)

La itinerancia (roaming) permite a un usuario acceder a los servicios desde redes de distintos operadores o proveedores de servicios (siempre y cuando existan acuerdos entre ellos) [1].

Roaming es la capacidad de que un abonado móvil pueda hacer o recibir llamadas de voz, enviar o recibir datos, y utilizar otros servicios de valor añadido en una red visitada, fuera del área de cobertura geográfica de la red local [33]. Significa poder traficar sobre otras redes (compatibles, sobre todo con el terminal móvil). El roaming puede ser regional, nacional e internacional [18].

Es frecuente distinguir entre itinerancia nacional e internacional (en función de que las redes que ofrecen el servicio pertenezcan a operadores del mismo o de distintos países) e itinerancia entre redes que utilizan distintas tecnologías [1].

Traspaso (Handover)

El traspaso (o handover), que es el proceso que permite el mantenimiento de la conexión cuando cambia el punto de acceso a la red debido al movimiento del terminal [1]. En este proceso, dos estaciones base intercambian la prestación de servicios a un usuario. Esto se da cuando durante la llamada la unidad móvil se mueve fuera del área de cobertura y la recepción se hace débil, la célula pide un handover. El sistema conmuta la llamada a un nuevo canal en una nueva celda o sector sin interrumpir la misma o alertar al usuario. La llamada continua tanto como el usuario lo desee. Este proceso tiene que ser transparente [18].

A mayor tamaño de las celdas, menor es la cantidad de entregas handover y viceversa, a menor tamaño de celdas, mayor es la cantidad de entregas handover. El handover se realiza

por tres motivos:

- Cambio de celda
- Balanceo de carga
- Mantenimiento (dentro de una misma celda sectorizada).

Entes reguladores de las Telecomunicaciones.

Un ente regulador es un organismo creado para controlar los monopolios públicos o privatizados a través de leyes y normas que deben cumplirse.

Entes internacionales

UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

ITU, por sus siglas en inglés. Es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación- TIC.

Atribuye el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial, elaboran normas técnicas que garantizan la interconexión continua de las redes y las tecnologías, y se esfuerza por mejorar el acceso a las TIC de las comunidades insuficientemente atendidas de todo el mundo.

La UIT está comprometida para conectar a toda la población mundial – dondequiera que viva y cualesquiera que sean los medios de que disponga. Por medio de su labor, protege y apoya el derecho fundamental de todos a comunicar [62].

3GPP (Third Generation Partnership Project)

Third Generation Partnership Project o Proyectos de Asociación para Tercera Generación, también conocida como sistema IMT-DS (Direct Spread. Expansión Directa) creada en diciembre de 1998.

3GPP es una organización que desarrolla las especificaciones para los sistemas de 3G basados en la interfaz aérea UTRA de ETSI (UMTS), esta organización es responsable también por el futuro de las especificaciones de trabajo de GSM, incluye dentro de sus miembros a ETSI (European Telecommunication Institute, Instituto Europeo de Telecomunicaciones), ARIB (Association of Radio Industries and Businesses - Asociación para Negocios y Radio Industria de Japón), T1 (Standardisation Committee of T1 Communications. Comité de Estandarización de Comunicaciones), TTA (Telecommunication Technology Association - Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones), TTC (Telecommunications Technology Committee - Comité de Tecnología de Telecomunicaciones) y CWTS (China Wireless Telecommunications Standard - Estándar de Telecomunicaciones Inalámbricas de China) [18].

ETSI (European Telecommunications Standard Institute)

ETSI, Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, produce normas de aplicación mundial para Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), incluyendo telefonía fija, móvil, radio y convergentes, tecnologías de difusión e Internet. Sus estándares permiten las tecnologías en las que se basan los negocios y la sociedad [63].

Los desarrollos sobre radiocomunicaciones en ETSI incluyen éxitos como DECT, TETRA y GSM, responsabilidad este último durante varios años del comité SMG para finalmente pasar el testigo al proyecto 3GPP del que ETSI es socio [1].

ETSI está reconocida oficialmente por la Unión Europea como una organización de estándares europeos. Es una organización sin fines de lucro con más de ochocientas organizaciones miembros en todo el mundo, procedentes de sesenta y seis países de los cinco continentes [63].

IEEE (Institute of Electric and Electronic Engineers)

IEEE, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, es la organización profesional técnica más grande del mundo dedicada a avanzar la tecnología para el beneficio de la humanidad. IEEE y sus miembros inspiran a una comunidad global a innovar para un futuro mejor a través de sus publicaciones, conferencias, estándares tecnológicos y actividades profesionales y educativas altamente citadas.

IEEE crea un entorno en el que los miembros colaboran en tecnologías que cambian el mundo, desde la informática y los sistemas de energía sostenible hasta la aeroespacial, las comunicaciones, la robótica, la asistencia sanitaria y más [64].

Entes nacionales

TELCOR

El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR) es el "Ente Regulador" de los Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales, una institución estatal, la cual tiene como funciones la normación, regulación, planificación técnica, supervisión, aplicación y el control del cumplimiento de las Leyes y Normas que rigen la instalación, interconexión, operación y prestación de los Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales.

Le corresponde a TELCOR la Administración y Regulación del Espectro de Frecuencias Radioeléctricas, así como también el otorgamiento de concesión, licencia, permiso o certificado de registro (de conformidad con la Ley y demás disposiciones legales aplicables) a Empresas interesadas en prestar Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales o hacer uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico [65].

Herramientas a utilizar para el desarrollo de las Prácticas de Laboratorio.

Las herramientas necesarias para la realización de las prácticas de laboratorio se dividen en dos clases: Herramientas de información geográfica (GIS) y herramientas de planificación de redes de radio (RNP).

Herramientas GIS (Geographic Information System)

GIS: (Geographic Information System). Un SIG es un sistema basado en computadora que proporciona los siguientes cuatro conjuntos de capacidades para manejar datos georeferenciados:

1. Captura y preparación de datos
2. La gestión de datos, incluido el almacenamiento y mantenimiento
3. Manipulación y análisis de datos
4. Presentación de Datos

Esto implica que un usuario GIS puede esperar el soporte del sistema a la entrada (referencia geográfica) de datos, para analizarlos de varias maneras, y para producir presentaciones (incluyendo mapas y otros tipos) de los datos. Esto incluiría soporte para varios tipos de sistema y transformaciones de coordenadas entre ellos, opciones para el análisis de los datos georeferenciados, y obviamente un gran grado de libertad de elección en la forma en que ésta información es presentada (como la combinación de colores, conjunto de símbolos que se utiliza) [66].

El término GIS ha llegado a encapsular sistemas (software) capaces de manejar datos que representan mapas y mostrarlos a un operador. Los primeros sistemas mostraron versiones digitalizadas de mapas en papel, pero los sistemas modernos son capaces de mostrar imágenes de mapas, bases de datos de terreno, mapas de características sociales, como densidad de población, carreteras e incluso los contornos de edificios individuales. Los sistemas avanzados ofrecen la capacidad de realizar muchas funciones basadas en datos geográficos, tales como identificar cuántas personas viven en un área determinada o encontrar la dirección más rápida de un lugar a otro [30].

Algunos ejemplos de herramientas GIS son: Surfer, QGIS, Google Earth, entre otros. Para la realización de las prácticas, se ha elegido el software Global Mapper como herramienta GIS, fundamentalmente por dos razones:

1. Provee la funcionalidad suficiente para acceder a una amplia gama de mapas en línea que son de libre uso.
2. Facilita la conversión de los mapas descargados a formato BIL, que es uno de los formatos que utiliza Atoll, la herramienta de planificación seleccionada.

Herramientas RNP (Radio Network Planning)

El proceso de planificación de redes de radio, en sus diferentes etapas, requiere tomar en cuenta una extensa serie de datos tales como: mapas, ubicación de las antenas, alturas de la zona geográfica, tipos de estructuras presentes en el terreno, capacidad de las antenas, movilidad y densidad de los usuarios, demanda de servicios, información sobre el modelo de propagación, etc. Hacer cálculos realistas tomando en cuenta cada uno de estos datos resulta un proceso complejo y tedioso, por lo que se hace necesaria la utilización de un software de planificación de redes de radio (herramienta de planificación).

Algunos ejemplos de herramientas RNP son: ICS Telecom, AIRCOM, Matlab, OMNET++, Xirio-Online, entre otros.

Para el desarrollo de las prácticas se ha elegido el software Atoll, desarrollado por la empresa Forsk, como herramienta RNP por las siguientes razones:

1. Existe una amplia documentación sobre el uso de la herramienta, principalmente de tres fuentes: Material proporcionado por la empresa Forsk, libros y monografías que abordan su utilización.
2. Porque es un entorno escalable, que contiene las características necesarias para cubrir todas las tecnologías abordadas en la microprogramación del componente curricular, y en constante desarrollo, de manera que incorpora nuevas tecnologías a medida que éstas son lanzadas al mercado.
3. Atoll ha tenido un fuerte impacto en el mercado alrededor del mundo, y está siendo utilizado por grandes compañías en Latinoamérica [67].

Herramienta GIS Global Mapper

Concepto

Global Mapper: Es una robusta y accesible aplicación GIS (Geographic Information System), que combina un amplio conjunto de herramientas de procesamiento de datos espaciales con acceso a una variedad sin igual de formatos de datos. Desarrollado por profesionales de GIS y dedicados a la creación de mapas, es un software versátil que puede ser usado tanto como elemento central de un sistema, así como complemento de otra infraestructura GIS establecida.

Global Mapper fue diseñado por Blue Marble Geographics y dado a sus amplias capacidades es utilizado por empresas de todos los tamaños y formas [68].

Licencia de Global Mapper

Global Mapper es un software comercial. Los precios de licencia varían según el tipo de usuario; la Tabla 4 muestra los precios para cada tipo de usuario⁹.

⁹ Los precios fueron consultados en el sitio oficial de Blue Marble Geo <http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper-purchase.php>, último acceso el 17 de noviembre de 2016.

Tabla 4 - Precios de licencia de Global Mapper

Tipo de usuario	Global Mapper por un año	Actualizaciones
Una máquina	\$499.00	\$499.00
Usuario flotante	\$849.00	\$499.00
Red	\$1600.00	\$1600.00

Herramienta de planificación Atoll

Concepto

Atoll: Es una plataforma de diseño y optimización de redes inalámbricas con multi-tecnología de 64-bit que soporta operadores inalámbricos sobre ciclos de vida de la red, desde su diseño inicial hasta la densificación y optimización [4] [69].

Atoll ha sido desarrollado por la empresa **Forsk**, una compañía de software independiente que provee a operadores, productos de diseño y optimización de redes inalámbricas. Forsk distribuye y soporta Atoll directamente desde oficinas y centros de soporte técnico en Francia, USA, y China, así como a través de la red mundial de distribuidores y socios [4] [67].

Atoll, en su entorno de desarrollo, provee un conjunto de herramientas y una serie de características que permitirán definir, desarrollar y optimizar dichas redes.

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

Atoll está formado por un módulo principal, al que se le pueden ir añadiendo módulos de las diferentes tecnologías inalámbricas que posee. En cada plantilla se proporciona una estructura de datos adecuada a la tecnología en la que se basa.

Características

Entre las características más importantes de Atoll, se destacan [69]:

Propiedades avanzadas en el diseño de redes: herramienta de cálculo de propagaciones de altas prestaciones, soporta redes multicapas y jerárquicas, modelado de tráfico, planificación automática de frecuencias y códigos y optimización de red.

Arquitectura abierta y flexible: soporta entornos multiusuarios gracias a una arquitectura de bases de datos innovadora, que permite compartir datos, gestionar la integridad de dichos datos y una sencilla integración con otros sistemas de telecomunicaciones.

Cálculos distribuidos y paralelos: Atoll permite el reparto de cómputos de tareas entre distintas estaciones de trabajo y soporta cálculos en paralelo en servidores multiprocesador, reduciendo significativamente los tiempos de simulación y predicción, sacando el máximo

partido del hardware disponible.

GIS de última generación: Atoll soporta datos geográficos multi-formato y multi-resolución y la integración con herramientas GIS. Permite cargar complejas bases de datos con información geográfica y mostrarlas de manera interactiva con múltiples capas.

Mediante la utilización de esta herramienta de planificación podremos disponer de bases de datos topográficas de gran resolución y acceder a ellos para obtener perfiles del terreno y datos que se utilizarán para realizar los cálculos de propagación. Nos permitirá emplear métodos de predicción de la propagación radioeléctrica más elaborados y con cálculos mucho más laboriosos. Además, nos facilitará la planificación al poder comparar distintas posibilidades de configuración de red (variar emplazamientos, potencias, orientaciones, etc), simplificando el proceso de optimización [10].

Tecnologías soportadas por Atoll

Todos los módulos de tecnologías disponibles en Atoll, están basados en plantillas de bases de datos. Estas plantillas son usadas para crear documentos de Atoll con la estructura de datos apropiada, requerida para planificar una determinada tecnología. Cada plantilla de base de datos es un archivo *.mdb de Microsoft Access, ubicado en la carpeta templates, en la carpeta de instalación de Atoll [70].

Las plantillas de bases de datos disponibles para la versión 3.3, son:

- GSM GPRS EDGE
- UMTS HSPA
- LTE
- 3GPP Multi-RAT
- CDMA2000
- TD-SCDMA
- WiMAX
- Microwave Links

Requerimientos

Atoll es un software para Windows, a partir de XP, versión de 32 y 64 bits.

La documentación de Atoll recomienda las siguientes características del ordenador para un usuario¹⁰ [69].

Tabla 5 - Requerimientos Software y Hardware para la instalación de Atoll

Software/Hardware	Recomendación
Procesador	Dual-Core o superior
RAM	2GB

¹⁰ Los requerimientos aquí detallados son los recomendados por la documentación de Atoll. No obstante, en las prácticas se han probado valores mínimos, y no se han presentado problemas.

Espacio en Disco	Por lo menos 10GB
Gráficos	1280 x 1024 True, High Colour, o superior
Sistema Operativo	Windows XP SP3 o superior

Además, para el correcto funcionamiento del programa, se necesita que el usuario tenga instalado:

- Microsoft Access
- Microsoft Access Database Engine Redistributable

Licencia de Atoll

Los costos de licencia de Atoll varían dependiendo de los módulos que se desea incluir. Por ejemplo, para el núcleo de Atoll más el módulo LTE, la licencia comercial por un año (precio de catálogo), es de: \$24.750. La empresa Forsk ofrece descuentos especiales para universidades, de manera que, para una universidad, el mismo paquete tendría un costo de \$1.238 por año¹¹.

Estructura del programa

La parte visual de Atoll está estructurada de la forma que se muestra en la Ilustración 15.

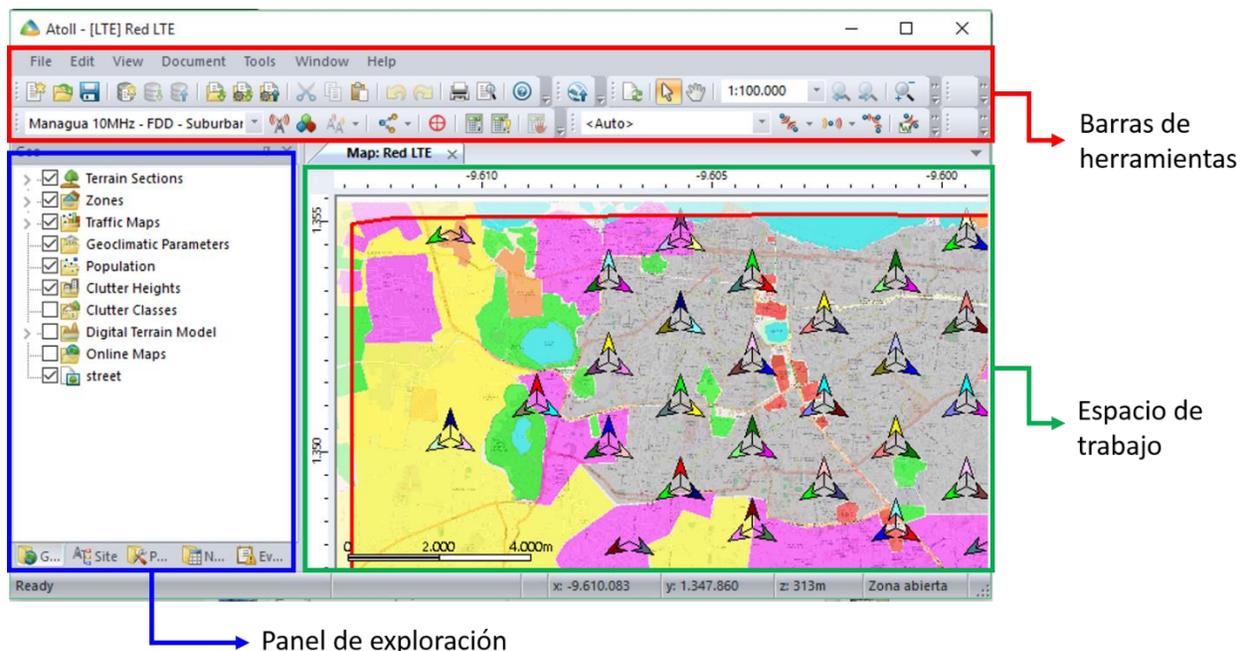


Ilustración 15 - Estructura visual de Atoll

En los siguientes apartados, se hace mención de cada una de las partes más importantes del programa, cuyo entendimiento es útil para facilitar la realización de las prácticas de laboratorio.

¹¹ Los precios de licencia no aparecen en la página de Forsk. No obstante, el equipo investigador contactó por correo al departamento de ventas de Forsk (sales@forsk.com) el 15 de noviembre de 2016.

Barras de herramientas de Atoll

Las barras de herramientas contienen acceso a la funcionalidad más relevante relacionada con los documentos y tablas cargados en el espacio de trabajo. Entre las más utilizadas tenemos la barra de herramientas para gestión de mapas (Map), y la barra de herramientas de planificación de radio (Radio Planning).

Barra de herramientas Map

La barra de herramientas Map, proporciona utilidades para el manejo de mapas en el espacio de trabajo; entre ellas están: acercar, alejar, mover, buscar un punto específico dentro del mapa y elegir un acercamiento específico partiendo de una proporción de medidas (1:100.000, por ejemplo).



Ilustración 16 - Barra de herramientas Map en Atoll

Barra de herramientas Radio Planning

Contiene utilidades necesarias para la planificación de radio. Entre ellas se destacan: Station Template, New Transmitter or Station, Hexagonal Design, Point Analysis y Calculate



Ilustración 17 - Barra de herramientas Radio Planning en Atoll

Station Template: Consiste en un selector de la plantilla de estaciones base que se va a utilizar.

New Transmitter or Station: Sirve para agregar nuevos transmisores o estaciones base al espacio de trabajo, de acuerdo con la plantilla seleccionada.

Point Analysis: Una vez hecho el despliegue de la red, nos permite poner un dispositivo en un punto específico del mapa, para hacer estudios de cobertura y calidad de señal en ese punto.

Calculate: Sirve para calcular las predicciones o simulaciones que estén desbloqueadas.

Panel de exploración

El panel de exploración permite el acceso a toda la información del proyecto: Mapas, tablas de datos configurados, estudios realizados, parámetros configurables de la plantilla que se está utilizando, entre otros. La información está clasificada según su naturaleza en diferentes pestañas, y en cada pestaña se organiza por carpetas, de acuerdo con la plantilla de la

tecnología que se esté implementando.

Explorador de información geográfica (Geo Explorer)

Contiene información relacionada con los mapas usados en el proyecto, clasificados según la función que tiene dicho mapa en el proyecto. También contiene información acerca de las zonas de cálculo y zonas de distribución de usuarios, como mapas de tráfico y hotspots. En este panel se puede agregar nuevas carpetas, en caso de que se necesite mapas adicionales para un proyecto determinado.

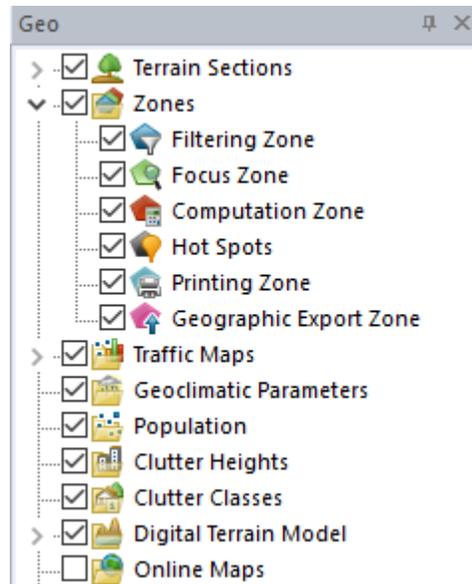


Ilustración 18 - Explorador de información geográfica (Geo Explorer) en Atoll

Dentro de los ítems de este panel, es válido destacar:

Computation Zone (Zona de cálculo): En los proyectos de planificación de radio, la zona de cálculo se usa para definir cuáles estaciones básicas será tomadas en consideración, y el área donde Atoll calcula matrices de pérdidas, predicciones, etc [25].

Traffic Maps (Mapas de tráfico): Sirven para asociar un área del mapa con un entorno de usuario previamente configurado.

Clutter Classes (Mapa de uso de terreno): El archivo de datos geo Clutter Class describe la cobertura del suelo o de uso de la tierra (por ejemplo: lagos, ríos, bosques, edificios, etc.). Cada píxel de un archivo de Clutter Class contiene un código (de un máximo de 256 clases posibles) que corresponde a un tipo de terreno, o en otras palabras a un cierto tipo de uso de suelo o la cubierta. La altura de cada clase se puede definir como parte de Clutter Class, sin embargo, esta altura es solamente un promedio por clase [25].

Digital Terrain Model: Se usa para cargar mapas de altimetría. DTM describe la elevación del terreno sobre el nivel del mar. Se puede visualizar el DTM de diferentes maneras: por un solo valor, valores discretos, o por intervalos de valores [25].

Explorador de red (Network Explorer)

En este panel se encuentran todos los elementos relacionados con el despliegue de red se está simulando. Entre ellos podemos mencionar: emplazamientos, transmisores, predicciones, simulaciones, grupos de celdas hexagonales, entre otros.

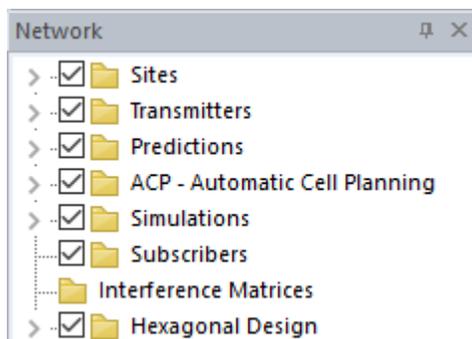


Ilustración 19 - Panel de exploración de red en Atoll

Explorador de parámetros (Parameters Explorer)

En esta sección se encuentran todos los parámetros iniciales del proyecto, a partir de los cuales son configurados los elementos de la red, tales como las frecuencias, las estaciones base, los terminales de usuario, las predicciones, las simulaciones, etc.

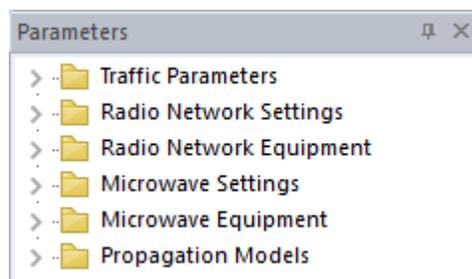


Ilustración 20 - Panel de exploración de parámetros en Atoll

Los parámetros están agrupados según su naturaleza en carpetas, como se muestra en la Ilustración 20. Dentro de estos grupos es importante mencionar:

Traffic Parameters (Parámetros de tráfico):

Los parámetros de tráfico contienen información relacionada con el tráfico, movilidad, dispositivos, servicios y entornos de usuario.

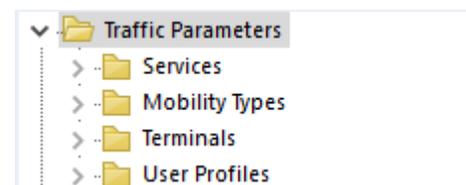


Ilustración 21 - Parámetros de Tráfico en Atoll

Services (Servicios): Contiene una lista de servicios propios de la tecnología que se esté implementando.

Mobility Types (Tipos de movilidad): Contiene datos sobre los tipos de movilidad del usuario. La movilidad es luego utilizada en los entornos de usuario. Móviles usados a altas velocidades y a bajas velocidades no tienen las mismas características de calidad.

Terminals (Terminales o dispositivos finales): Contiene datos sobre los dispositivos finales, los servicios y las frecuencias que soportan.

User Profiles (Perfiles de usuario): Modela el comportamiento de diferentes categorías de usuarios. Cada perfil es definido por una lista de servicios que a su vez está definida por el terminal utilizado, las llamadas por hora, y la duración (para llamadas tipo voz) o el volumen ascendente y descendente (para llamadas tipo datos).

Environments (Entornos): Es un conjunto de perfiles de usuario, cada uno con un tipo de movilidad asociado y una densidad dada (es decir, el número de abonados con el mismo perfil por km²) [25].

Radio Network Settings (Configuraciones de la red de radio):

Los parámetros de red contienen información relacionada con las frecuencias y las estaciones base.

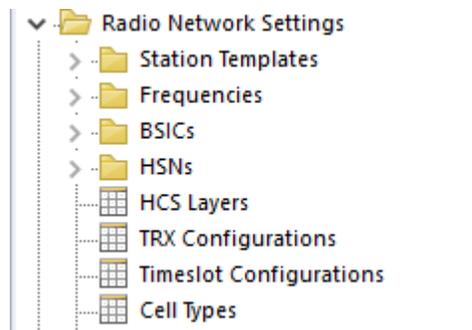


Ilustración 22 - Configuración de parámetros de la red de radio en Atoll

Station Templates (Plantillas de estaciones base): Contiene una serie de plantillas para las estaciones base, preconfiguradas de acuerdo con la tecnología. En las plantillas se establecen una serie de parámetros de las estaciones base, de forma que al agregar nuevas estaciones todas sean configuradas según la plantilla seleccionada.

HCS Layers: Hierarchical cell structure Layers, en español, Capas de estructura de célula Jerárquica: Desempeñan varios papeles en Atoll. Las diferentes capas tienen diferentes prioridades y limitaciones de movilidad. Además, se puede administrar el tráfico de desbordamiento al permitir que el tráfico fluya de una capa a otra.

El objetivo es modelar el comportamiento de una red real, donde dos servidores potenciales que no pertenecen a la misma capa por lo general no compiten para ser el mejor servidor.

En el cálculo de una matriz de interferencia, o cuando se realiza una predicción de cobertura de

interferencia, las capas de HCS se utilizan para crear mapas de zonas de servicio que se utilizan como la base de estos cálculos [25].

Propagation Models (Modelos de Propagación):

En esta carpeta se encuentran los distintos modelos de propagación soportados por Atoll. También puede crear y configurar su propio modelo de propagación.

Visor de eventos (Events Viewer)

El panel visor de eventos contiene cada una de las acciones que se han realizado durante los cálculos de Atoll (Predicciones, simulaciones, AFP, etc). Entre ellos se muestran advertencias y errores en caso de que existan.

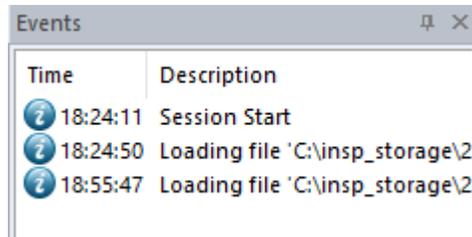


Ilustración 23 - Visor de eventos en Atoll

Tablas principales

Tabla de emplazamientos (Sites Table)

En esta tabla se encuentra información de cada uno de los emplazamientos, tales como altitud, ubicación, tipo de soporte entre otros.

Name	X	Y	Altitude (m)	Comments	Support Height (m)	Support Type
Site0	-9.673.926	1.385.770	[68]		50	Microwave Tower
Site1	-9.672.497	1.383.295	[110]		50	Microwave Tower
Site10	-9.669.639	1.386.595	[107]		50	Microwave Tower

Ilustración 24 - Tabla de emplazamientos (Sites) en Atoll

Tabla de transmisores (Transmitters Table)

La tabla de transmisores contiene propiedades de cada uno de los transmisores desplegados en la red, tales como el tipo de transmisor y el tipo de antena que se está usando.

Site	Transmitter	ID	Active	Transmitter Type	Antenna
Site0	Site0_1		<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-network (65deg 17dBi 4Tilt 900MH
Site0	Site0_2		<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-network (65deg 17dBi 4Tilt 900MH
Site0	Site0_3		<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-network (65deg 17dBi 4Tilt 900MH
Site1	Site1_1		<input checked="" type="checkbox"/>	Intra-network (65deg 17dBi 4Tilt 900MH

Ilustración 25 - Tabla de transmisores (Transmitters) en Atoll

Tabla de celdas (Cells Table)

La tabla de celdas tiene información de cada una de las celdas desplegadas en el proyecto, entre las que se destacan: La banda de frecuencias, el tipo de celda, el tamaño, información sobre la gestión de interferencia entre celdas, entre otras.

Transmitter	Name	ID	Active	Order	Layer	Cell Type	Frequency Band
Site0_1	Site0_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH
Site0_2	Site0_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH
Site0_3	Site0_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH
Site1_1	Site1_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH

Ilustración 26 - Tabla de celdas en Atoll

Tabla de bandas frecuencias (Frequency Bands)

En la tabla de frecuencias se encuentra cada una de las frecuencias preconfiguradas de acuerdo con la tecnología que se esté utilizando. También se pueden agregar nuevas bandas de frecuencias para ser utilizadas en un proyecto en particular. Entre los parámetros se destacan: El tipo de duplexación, el número de canales a utilizar, el ancho de banda por canal, etc.

Name	Duplexing Method	TDD: Start Frequency, FDD: DL Start Frequency (MHz)	FDD: UL Start Frequency (MHz)	Channel Width (MHz)
E-UTRA Band 1 - 10MHz	FDD	2.110	1.920	10
E-UTRA Band 1 - 15MHz	FDD	2.110	1.920	15
E-UTRA Band 1 - 20MHz	FDD	2.110	1.920	20
E-UTRA Band 1 - 5MHz	FDD	2.110	1.920	5

Ilustración 27 - Tabla de Frecuencias en Atoll

Zona de trabajo (Ventana de mapas)

La zona de trabajo sirve para visualizar cada uno de los objetos del panel de exploración (Datos de la red, datos geográficos, predicciones y simulaciones) como múltiples capas. Las propiedades de visualización (como el orden de las capas, estilos, colores, transparencias, acercamiento, etc.) son definidas por el usuario. Se pueden abrir numerosos mapas simultáneamente, permitiendo al usuario trabajar con diferentes vistas (Por ejemplo, diferentes niveles de acercamiento) del mismo proyecto [69].

Otras utilidades

AFP (Automatic Frequency Planning)

AFP es un módulo de Atoll que sirve para la generación de planes de frecuencias. Tiene como objetivo generar asignaciones óptimas para cada parámetro de red, es decir, asignaciones que minimizan las interferencias en la red y que cumplen con un conjunto de restricciones definidas por el usuario. Las dos principales limitaciones son: Las limitaciones de separación y las limitaciones del espectro. AFP utiliza una "función de coste" para evaluar la frecuencia. El objetivo del algoritmo es encontrar planes de frecuencia con costos mínimos. La función de coste y sus parámetros son especificados por el usuario [69].

Información adicional

Uso que Atoll hace de los mapas

Cada uno de los mapas tiene un significado diferente en Atoll. Según su uso, los mapas se clasifican en:

- Datos geográficos utilizados en cálculos de propagación: Digital Terrain Model, Clutter Classes y Clutter Heights.
- Datos geográficos utilizados en el dimensionado de la red: Traffic Maps.
- Datos geográficos utilizados en estadísticas: Population Maps y Custom Maps.
- Datos geográficos para fines visuales: Scanned Maps, Online Maps, entre otros [25].

Diseño metodológico

Tipo de Investigación

El presente trabajo monográfico tiene un enfoque práctico. La teoría incluida no pretende brindar al estudiante el conocimiento teórico del componente; se incluyen los conceptos que, substancialmente, sirven para la comprensión de las prácticas de laboratorio, necesaria para el desarrollo satisfactorio de éstas. Por lo tanto, el tipo de investigación es: Investigación aplicada.

Prácticas de Laboratorio dirigidas a:

Estudiantes:

A los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telemática de la UNAN-León, dado que hasta la fecha la Universidad no cuenta con una referencia que se pueda utilizar para impartir dicho componente.

Docentes:

Este aporte también va dirigido al personal docente, quien pueda hacer uso de este material como una guía, la cual posee una secuencia de las prácticas que se deben ir desarrollando de acuerdo al contenido teórico que se vaya impartiendo.

Interesados conocedores del tema:

Todas aquellas personas que quizá no forman parte de la Universidad, pero que presentan cierto interés en la temática, podrán hacer uso de este trabajo como fuente de información.

Etapas de la investigación

La metodología que se ha utilizado para llevar a cabo el presente trabajo se basa en un diseño sistemático o por fases, el cual se detalla a continuación:

Estudio del arte

- Lectura de documentación sobre Tecnología de Redes Celulares en busca de antecedentes.
- Se ha extraído información de fuentes primarias. Las fuentes que se han tomado en cuenta son:
 - Libros que abordan la temática.
 - Libros y manuales producidos por Forsk, la empresa creadora de Atoll.
 - Sitios oficiales de las estandarizadoras de las telecomunicaciones (ITU, IEEE, 3GPP, TELCOR, entre otras).
 - Artículos científicos ¹².

¹² Los artículos científicos consultados en este documento fueron accedidos desde scholar.google.com, researchgate.net, entre otros. La mayoría de ellos son aceptados por IEEE.

- Monografías realizadas en otras universidades del mundo.
- Portales de universidades que imparten el componente, o componentes similares.

Selección de la Información

- Análisis y selección de la información útil para el desarrollo de las prácticas.
Se seleccionó información relacionada con la planificación de la red de acceso de las redes móviles.
- Decisión de los criterios bajo los cuales se van a clasificar las prácticas.
Se clasificaron las prácticas por generaciones.

Búsqueda de herramientas

- Elección de software a utilizar de acuerdo a su capacidad y funcionamiento para el análisis y estudio de cada uno de los protocolos y las generaciones de las redes celulares.
El criterio de selección de las herramientas está relacionado con la documentación de la etapa del estudio del arte, y se detalla en la sección Herramientas a utilizar para el desarrollo de las Prácticas de Laboratorio., página 59.
- En este paso se seleccionó:
Global Mapper como herramienta GIS, para la generación de mapas a partir de recursos de libre acceso y distribución en Internet.

Atoll para el diseño, planificación y optimización de las redes celulares, esto incluye predicciones de cobertura y calidad, y simulaciones Monte Carlo para evaluar el comportamiento de la red.

Desarrollo de las prácticas

- Definición de un formato para la redacción y desarrollo de las prácticas.
- Desarrollo y clasificación de cada una de las prácticas según las generaciones de las redes celulares.
- Elaboración del documento con el enunciado, competencias y requerimientos para poder realizar cada una de las prácticas de laboratorio.

Prácticas de laboratorio propuestas

Formato de las prácticas

Cada una de las prácticas de laboratorio propuestas consiste en un proyecto de planificación de una red celular.

La planificación de una red celular es un proceso largo y complejo; no obstante, se ha seleccionado un conjunto de acciones o tareas que son esenciales en dicho proceso, a estas tareas se les ha llamado: ejercicio. Al final de cada práctica se proponen actividades para el

estudiante.

El formato de las prácticas propuestas se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6 - Formato de las prácticas de laboratorio

Sección	Descripción
Título de la práctica	Número y nombre de la práctica
Competencias	Capacidades que el estudiante desarrolla con la práctica
Temporización	Tiempo estimado para la realización de la práctica
Bibliografía	Referencias bibliográficas
Requerimientos mínimos	Características Hardware y Software que debe tener el equipo.
Conocimientos previos	Temas que el estudiante debe dominar para desarrollar la práctica.
Descripción del escenario de la práctica	Descripción de la práctica
Ejercicios	Una serie de tareas guiadas que el estudiante debe desarrollar, enumeradas desde Ejercicio 0 hasta Ejercicio N.
Actividades para el estudiante	Propuesta de mejoras o proyectos similares que el estudiante debe hacer después de finalizar los ejercicios.

Carga horaria

En la Tabla 7 se detalla de manera resumida la planificación en horas y en sesiones de laboratorio requeridas para desarrollar cada práctica.

Tabla 7 - Distribución de horas por práctica

Práctica	Horas	Sesiones de Laboratorio
Práctica 1 (Características Generales)	2	1 Sesión
Práctica 2 (GSM)	4	2 Sesiones
Práctica 3 (UMTS)	4	2 Sesiones
Práctica 4 (LTE)	4	2 Sesiones
Práctica 5 (WiMax)	4	2 Sesiones
Total	18	9 Sesiones

A continuación, se muestra el desarrollo de cada una de las prácticas de laboratorio para el componente: Tecnologías de Redes Celulares.

Práctica de laboratorio 1 – Características Generales de planificación en Atoll

Competencias:

Después de realizada esta práctica el estudiante será capaz de:

- Utilizar la herramienta Atoll.
- Conocer las características generales de las Tecnologías GSM, GPRS, EDGE.

Temporización:

El plazo de realización de esta práctica será de una sesión de laboratorio.

Bibliografía:

- Forsk 2011, Atoll Getting Started-GSM Version 3.1.0.
- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 User Manual Radio.

Requerimientos mínimos¹³

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz.
 - RAM: 1 GB.
- Software:
 - Windows XP o superior.
 - Atoll 3.3 O superior
 - Global Mapper 16.1 o superior.

Conocimientos Previos

No se requiere conocimientos previos para la realización de esta práctica.

¹³ Los requerimientos aquí expuestos son requerimientos mínimos con los que se ha probado el programa sin problemas. No obstante, difieren con las características recomendadas por la documentación de Atoll.

Ejercicio 0: Partiendo de una base de datos Multi-RAT

01) Abrir Atoll

02) Click en File >> New >> From an existing Database

03) Seleccione el archivo: /Materiales/Práctica 1 - Características Generales/Base de datos/multi-rat_database.mdb

04) En el cuadro de diálogo "Data to load", verifique que esté activa la opción (All)

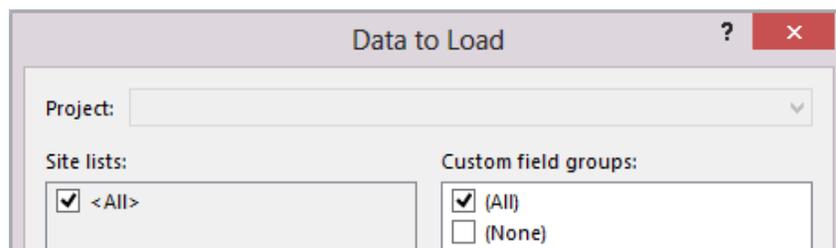


Ilustración 28 - Cuadro de diálogo Data to load

05) En el cuadro de diálogo "3GPP Multi-RAT", seleccione las tres opciones: GSM, UMTS y LTE.

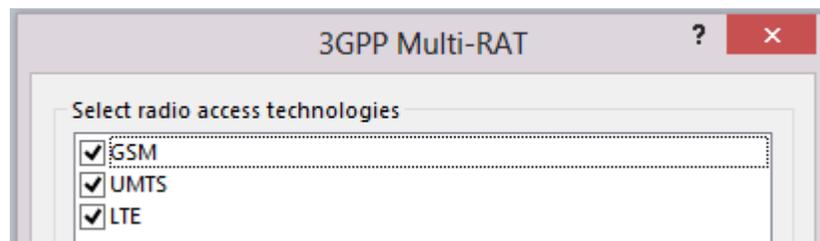


Ilustración 29 - Cuadro de diálogo de selección de tecnologías 3gpp Multi-RAT

06) Haga Click en View >> Network Explorer, para ver el panel explorador de red.

07) En la carpeta Sites, haga clic derecho, luego elija Centre in map window.



Ilustración 30 - Emplazamientos cargados desde la base de datos

08) En la barra de herramientas Map, ajuste la opción Scale a 1:25,000

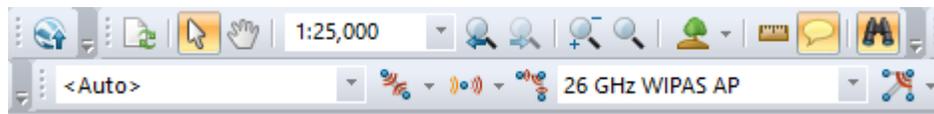


Ilustración 31 - Escalado de 1:25,000 desde la herramienta Scaler

09) En el Explorador de red, haga clic derecho sobre la carpeta GSM Transmitters, luego elija Properties.

10) Haga clic en la pestaña Display.

11) En la opción Display type, seleccione unique.

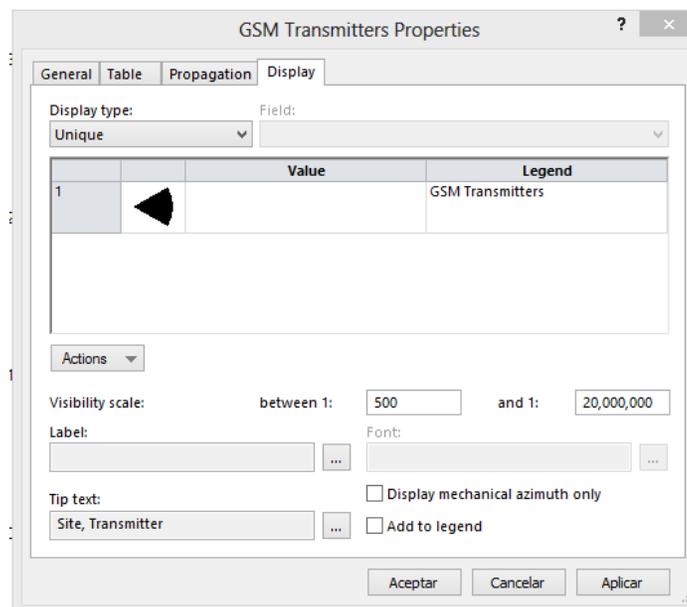


Ilustración 32 - Cuadro de diálogo de propiedades de los transmisores GSM

12) Haga clic sobre el ícono.

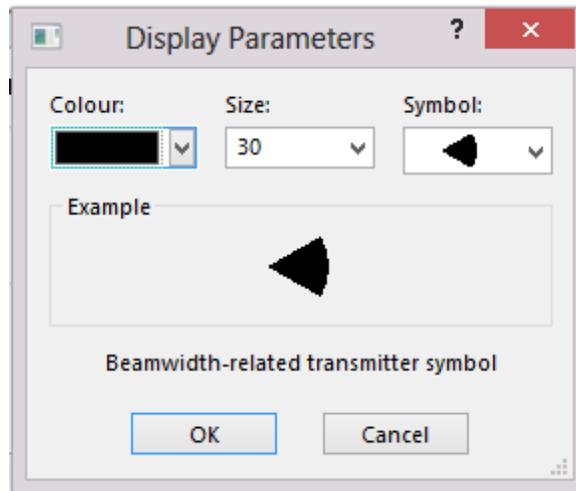


Ilustración 33 - Cuadro de diálogo para la configuración visual de los transmisores

- 13) Elija un color diferente para este tipo de transmisores, desde el campo Colour.
- 14) Repita desde el paso 9, para las carpetas UMTS Transmitter y LTE Transmitter, eligiendo un color diferente para cada tipo de transmisor.

El Producto final debería ser parecido al que se muestra en la Ilustración 34:

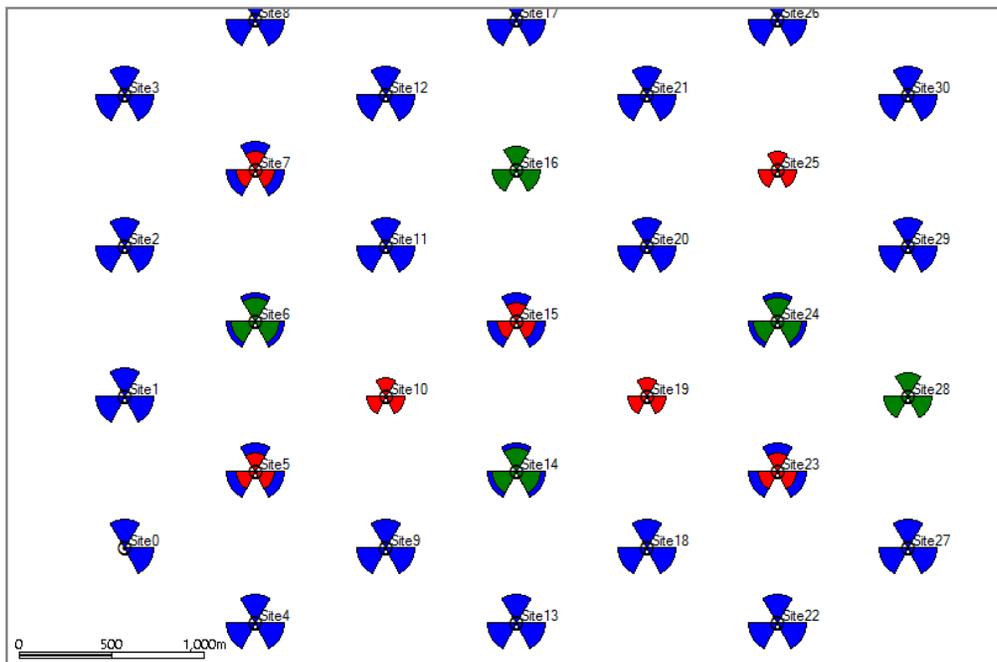


Ilustración 34 - MultiRAT con transmisores de diferentes colores y tamaños según tecnología

- 15) Guarde el documento en una carpeta personal.

Ejercicio 1: Importar mapas

01) Abra el proyecto *.ATL del ejercicio anterior

02) Archivo >> Import

Luego navegue hasta Materiales\Práctica 1 - Características generales\Mapas

Elija el archivo mapa_altimetria.bil.

03) Haga clic en Import

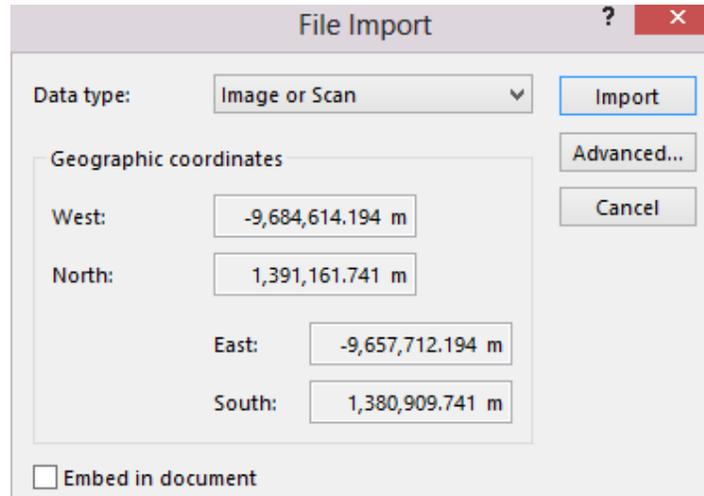


Ilustración 35 - Cuadro de diálogo de importación de mapas en Atoll

04) Repita los pasos 2 y 3 con los demás archivos de imagen que se encuentran en la carpeta.

05) Finalmente, todos los mapas estarán cargados en la misma ubicación. Para verlos puede activarlos o desactivarlos desde las casillas que aparecen a la izquierda, en el panel Geo Explorer.

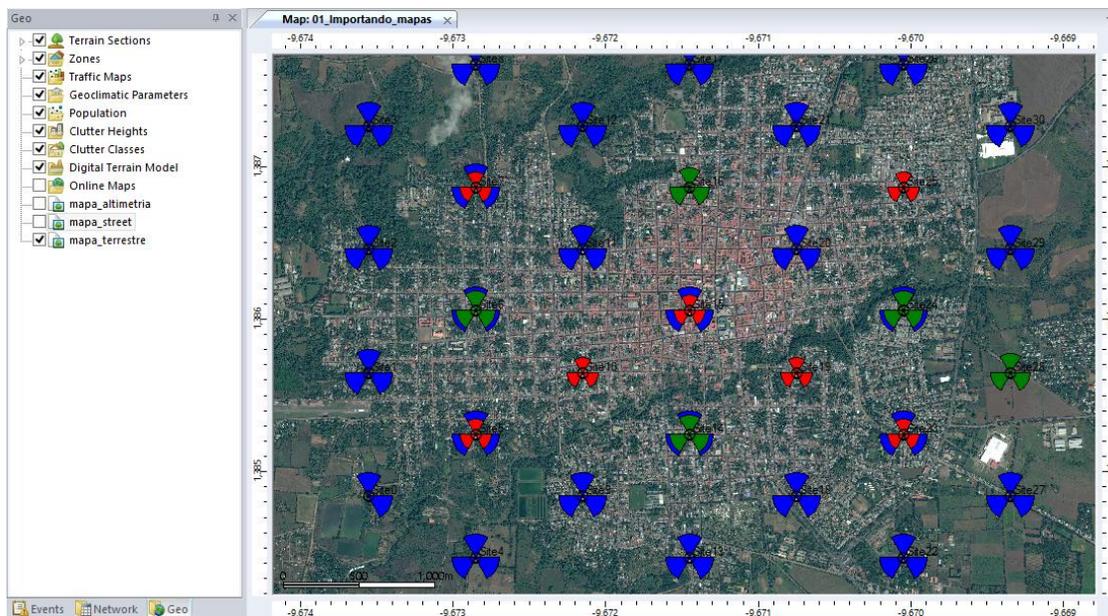


Ilustración 36 - Resultado de la carga de mapas (Mapa terrestre)

Si el panel Geo Explorer, no se muestra, haga clic en View, luego en Geo Explorer.

Ejercicio 2: Crear mapas con Global Mapper

Observaciones preliminares

- Para la realización del presente ejercicio, es imprescindible una conexión con Internet.
- Debe guardar todos los archivos en una sola unidad. De preferencia, que no sea una unidad extraíble, dado que el programa (Atoll) guarda las rutas absolutas de los archivos.

01) Abra Global Mapper.

02) Clic en Download Free Maps/Imagery from online sources.



Ilustración 37 - Opciones de la ventana principal de Global Mapper

Con los pasos indicados a continuación, vamos a generar un mapa de carreteras (Street Map).

03) En la nueva ventana que se abre, elija la Opción: WORLDWIDE DATA. (Haga clic en el signo más que aparece a la izquierda).

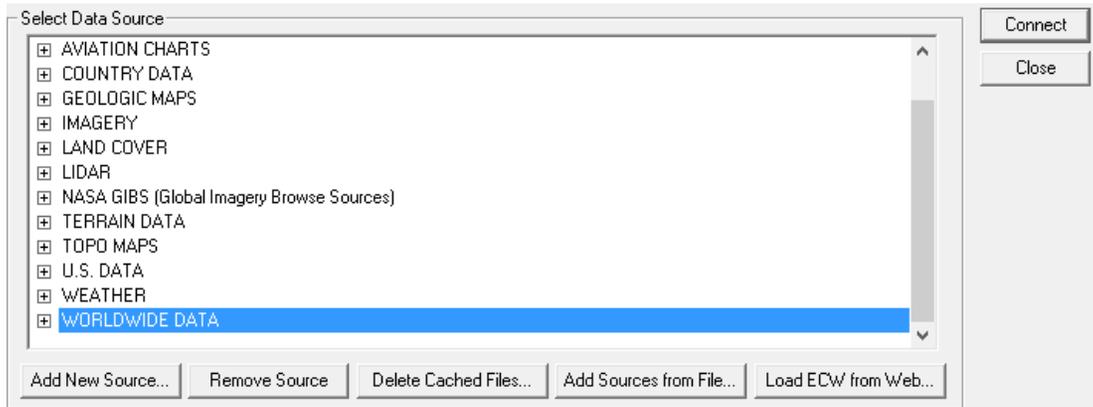


Ilustración 38 - Selección del tipo de mapa en Global Mapper

04) Se desplegará una serie de opciones, de las cuales vamos a seleccionar: OpenStreetMao.org Global Street Maps.

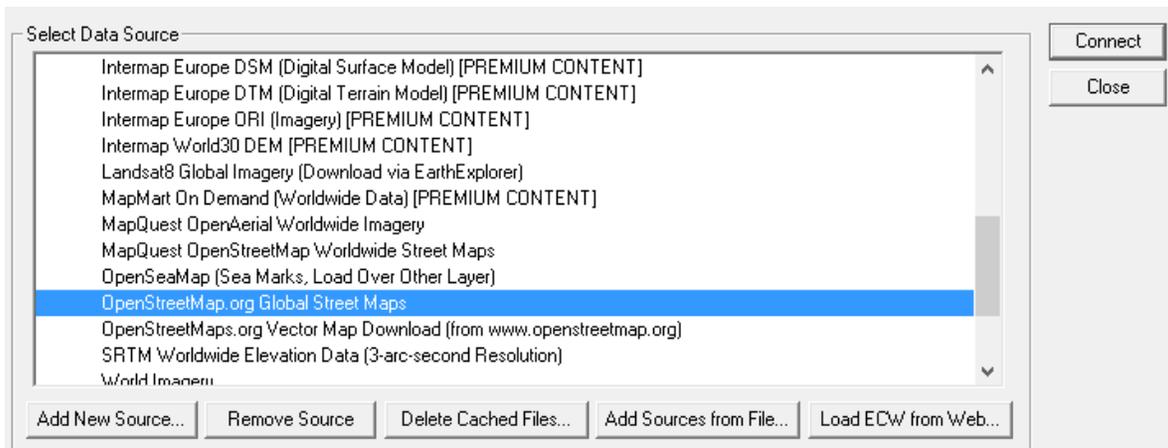


Ilustración 39 - Selección de una fuente de carga de mapas en Global Mapper

05) Acerque el mapa, de manera que pueda ver específicamente el área que desea.

Nota: Mientras más grande sea el área del mapa, más tiempo le tomará en transformarlo a un formato compatible con Atoll.



Ilustración 40 - Selección de área del mapa en Global Mapper

06) Cuando tenga el mapa seleccionado, haga clic en File >> Export >> Export Raster/Image Format

07) En el cuadro de diálogo que aparece, seleccione BIL/BIP/BSQ File, Luego haga clic en OK.

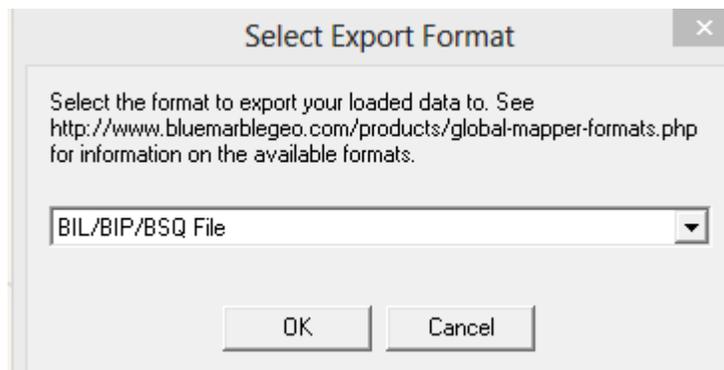


Ilustración 41 - Selección del formato de exportación del mapa

08) Si aparece un cuadro de diálogo con título Tip, pulse OK.

09) Aparecerá un cuadro de diálogo, en donde configuraremos algunas opciones:

a) En la sección Format debe estar seleccionado el formato BIL/RAW.

b) En la sección Sample Spacing cambie el tamaño por pixel, asignado en los campos X-axis y Y-axis.

Observación: Mientras más pequeño sea el número, (Por ejemplo 0.5) más tiempo tardará en generar el mapa. Dependiendo de la capacidad de su procesador y de su velocidad de Internet,

puede durar muchas horas (o incluso días). Si el número es demasiado alto (Por ejemplo 30), tendrá un mapa de muy baja resolución. Los valores recomendados, para el área recomendada, con una conexión de 1Mbps, tiene un costo aproximado de veinte minutos en generarse, y pesa, cerca de los 200MB.

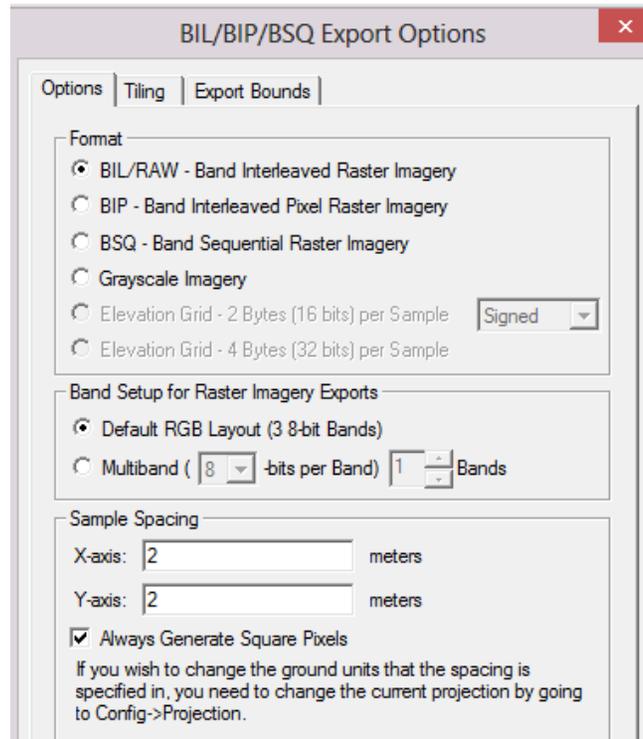


Ilustración 42 - Configuración de parámetros de mapa a exportar en Global Mapper

10) Haga clic en la pestaña Export Bounds, y elija: All Data Visible On Screen. Luego, haga clic en OK.



Ilustración 43 - Configuración del área a exportar en Global Mapper

11) Le preguntará dónde quiere guardar el mapa. Le recomendamos que lo guarde en la carpeta donde guardó su proyecto de Atoll.

12) Espere mientras el mapa se genera.

Con lo que llevamos hasta el momento, tenemos generado un mapa de carreteras (Street). Es

importante generar de una vez todos los mapas que se van a utilizar en un proyecto, para que éstos queden ubicados exactamente en la misma posición.

A continuación, vamos a generar un mapa satelital.

13) Sin hacer cambios en el mapa (sin mover, ni acercar, ni alejar), haga clic en File >> Download Online Imagery/Topo/Terrain Maps...

14) En el cuadro de diálogo que aparece, ahora seleccione IMAGERY (Haga clic en el signo más que aparece a la izquierda).

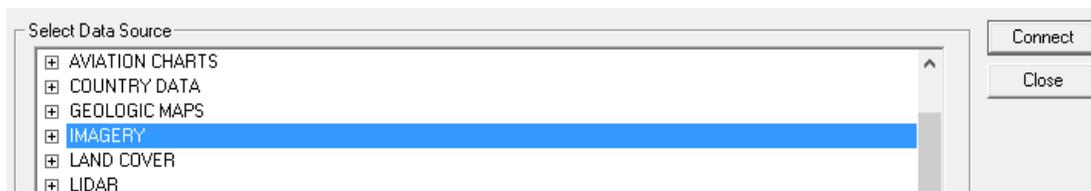


Ilustración 44 - Selección del tipo Imagery en Global Mapper

15) Seleccione World Imagery, y luego haga clic en Connect.

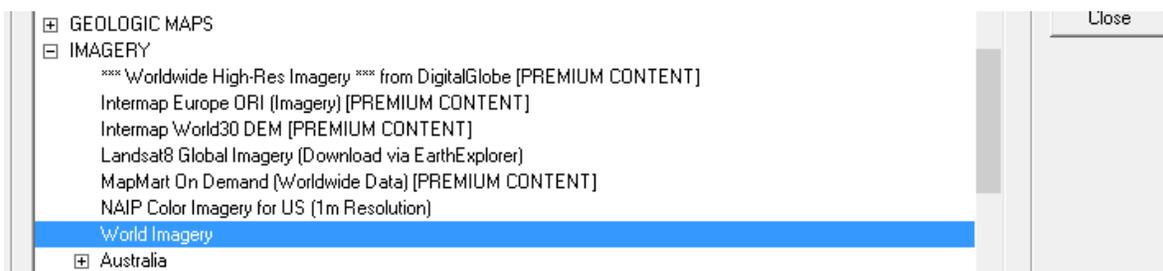


Ilustración 45 - Selección de la fuente World Imagery

El resultado será similar al de la figura.

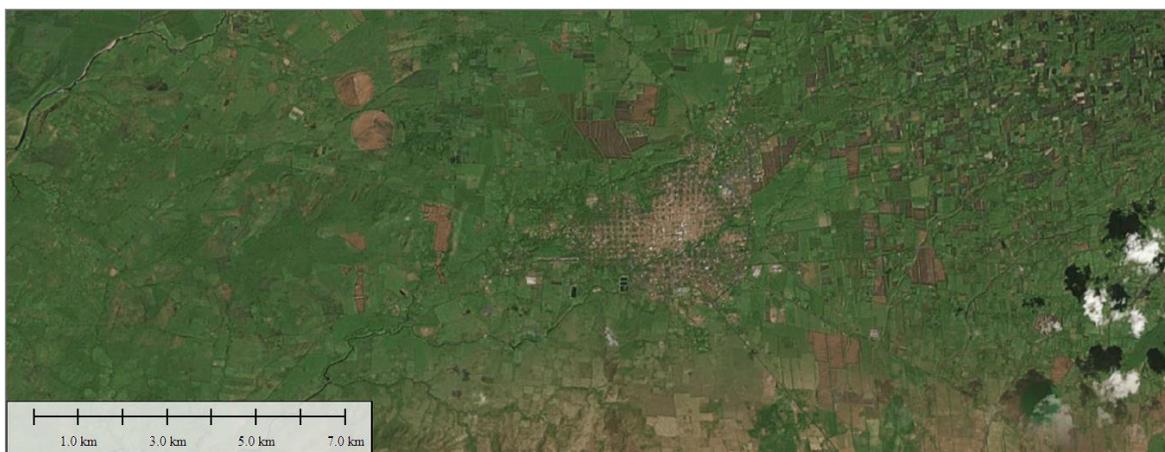


Ilustración 46 - Vista del mapa Imagery descargado

16) Repita los pasos del 6 al 12, para exportar el mapa en formato BIL.

Por último, vamos a generar un mapa de altimetría, o mapa de alturas.

17) Sin mover el mapa, haga clic en File >> Download Online Imagery/Topo/Terrain Maps...

18) En el cuadro de diálogo que aparece, ahora seleccione TERRAIN DATA (Haga clic en el signo más que aparece a la izquierda).



Ilustración 47 - Selección del tipo Terrain Data en Global Mapper

19) Seleccione ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data, y luego haga clic en Connect.

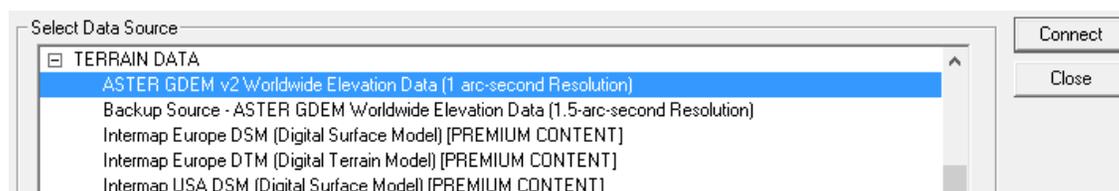


Ilustración 48 - Selección de la fuente ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data

El resultado será similar al de la figura.

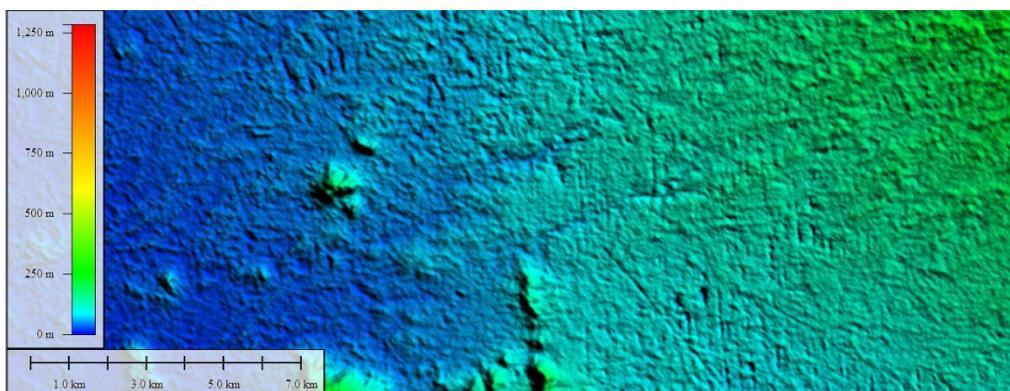


Ilustración 49 - Vista de un mapa DTM en Global Mapper

20) Repita los pasos del 6 al 12, para exportar el mapa en formato BIL.

Ejercicio 3: Usar mapas Online

01) Crear un nuevo proyecto de Atoll: File >> New >> From a Document Template.

02) En el cuadro de diálogo Projects Templates, elija 3GPP Multi-RAT, y luego haga clic en OK.

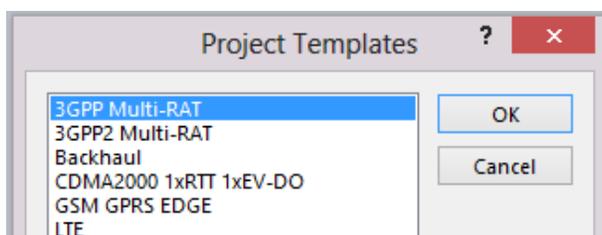


Ilustración 50 - Cuadro de diálogo de selección de plantilla en Atoll

03) En el cuadro de diálogo 3GPP Multi-RAT, verifique que estén seleccionadas las opciones GSM, UMTS y LTE.

04) A continuación, vamos a ubicarnos en las coordenadas del mapa. Para ello, hacemos clic en Document >> Properties.

Aparecerá un cuadro de diálogo como el que se muestra en la ilustración.

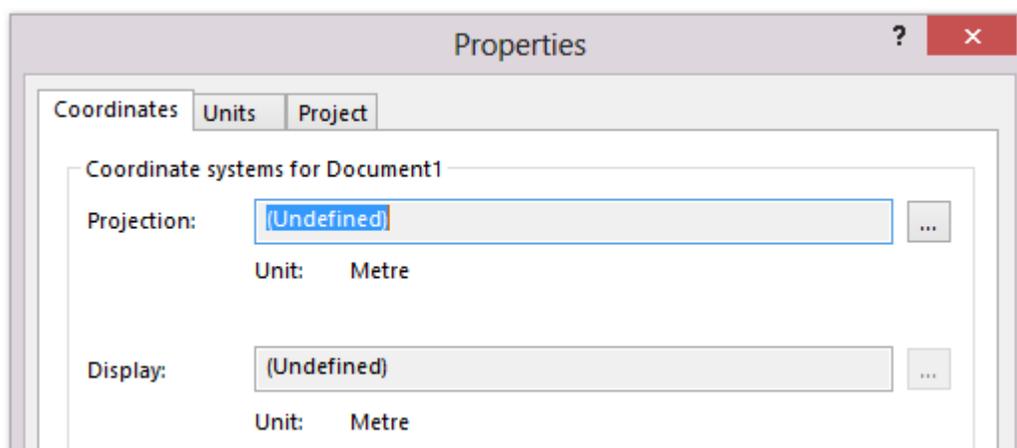


Ilustración 51 - Definiendo coordenadas de la ubicación del proyecto

05) En el campo projection, haga clic en el botón para examinar.

06) En la lista desplegable Find in: elija South America.

En la tabla donde se muestran los resultados elija NAD Panamá / Panamá Zone, y luego haga clic en OK.

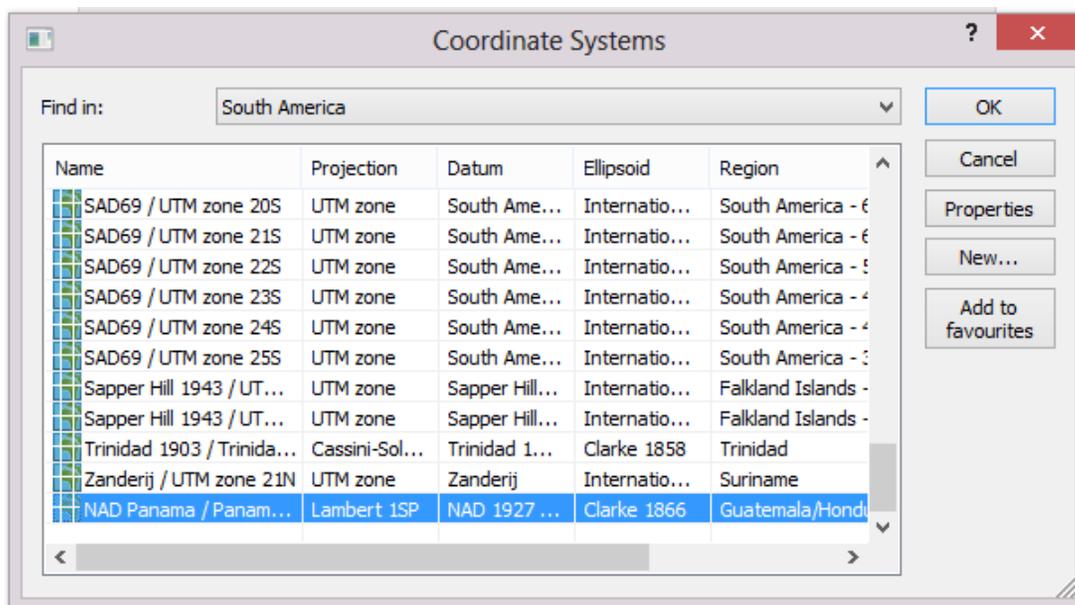


Ilustración 52 - Selección de la ubicación NAD Panama

07) El resultado será similar al de la Ilustración 53. Haga clic en Aceptar.

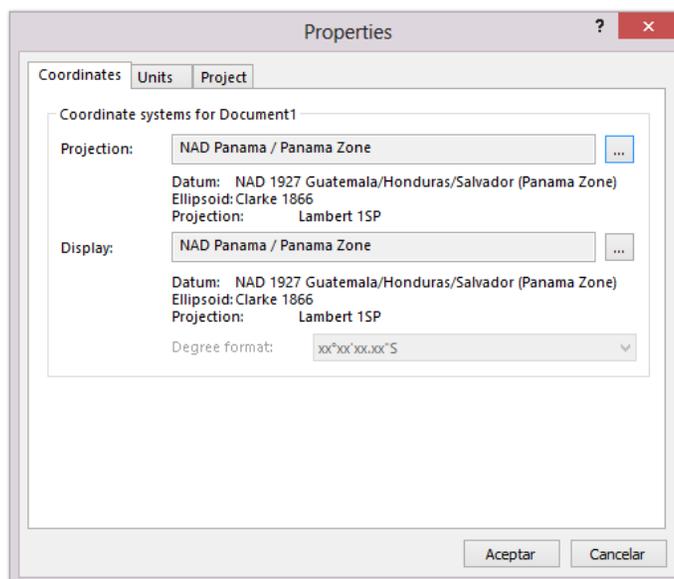


Ilustración 53 - Coordenadas del proyecto una vez elegida la ubicación

08) Si no le aparece en pantalla el panel Geo Explorer, Haga clic en View >> Geo Explorer.

09) En la carpeta Online Maps, haga clic derecho y luego elija New.

10) En el cuadro de diálogo Add a Tile Server, en el campo Name, elija (Desplegando la lista), MapQuest Open Map, luego haga clic en Aceptar.

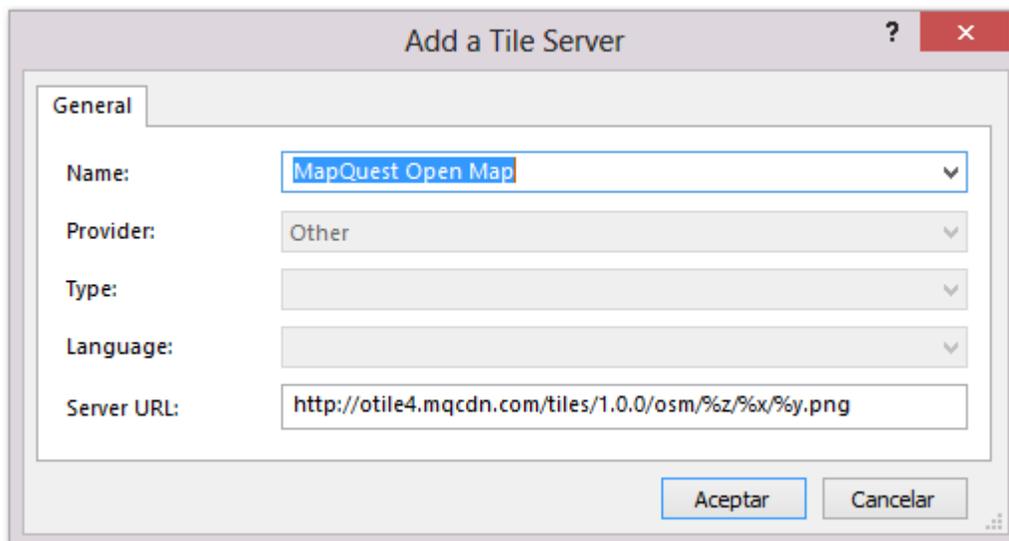


Ilustración 54 - Eligiendo un servidor de mapas en línea

11) Seleccione la carpeta Online Maps, del panel Geo Explorer, para activar la visibilidad del mapa.

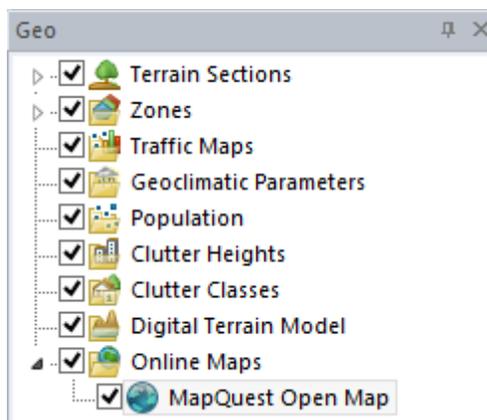


Ilustración 55 - Activando la visibilidad del mapa en línea

12) Utilice la opción Scale de la barra de herramientas Map para acercar o alejar el mapa, y Ctrl + D para moverlo.

13) Seleccione el área de trabajo.

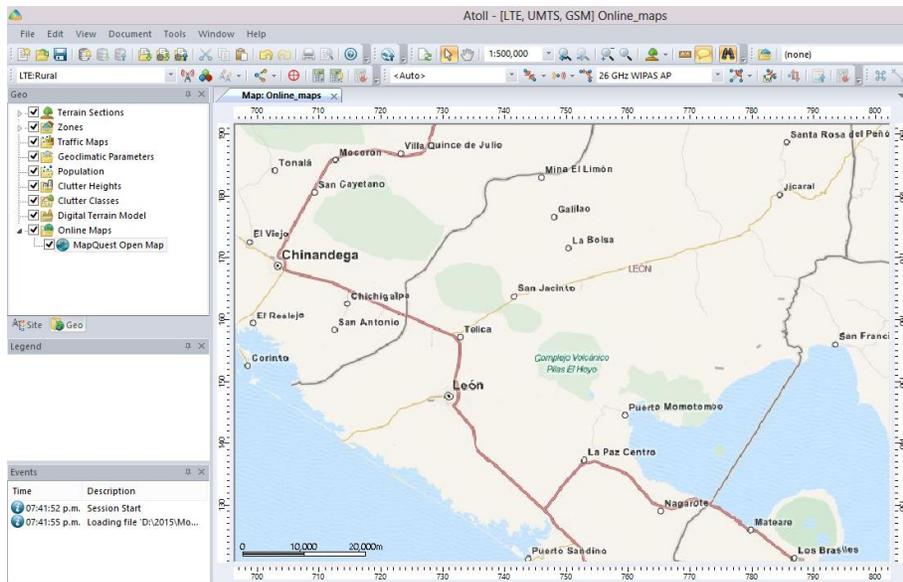


Ilustración 56 - Selección del área de trabajo en el mapa en línea

Ejercicio 4: Creando una nueva estación.

01) Crear un nuevo proyecto de Atoll.

File >> New >> From a document template

02) En el cuadro de diálogo Project Templates, haga clic en 3GPP Multi-RAT, luego clic en OK

03) En el cuadro de diálogo 3GPP Multi-RAT, elija GSM, UMTS y LTE. Luego clic en OK.

04) Siga los pasos del ejercicio 1, para importar un mapa. En este caso importaremos el mapa ubicado en Materiales\Práctica 1 - Características generales\Mapas\mapa_terrestre.bil

05) En la barra de herramientas Radio Planing, en el campo Station Templates (Es una lista desplegable), elija GSM:Urban 900 (Al hacer esto, está seleccionando una plantilla para GSM de una zona urbana con una frecuencia de Transmisión/Recepción de 900Hz).



Ilustración 57 - Selección de la plantilla GSM Urban 900

06) Clic en el botón New Transmitter Station de la barra de herramientas Radio Planing. Agregue una nueva estación en el centro de la ciudad en el mapa de León.

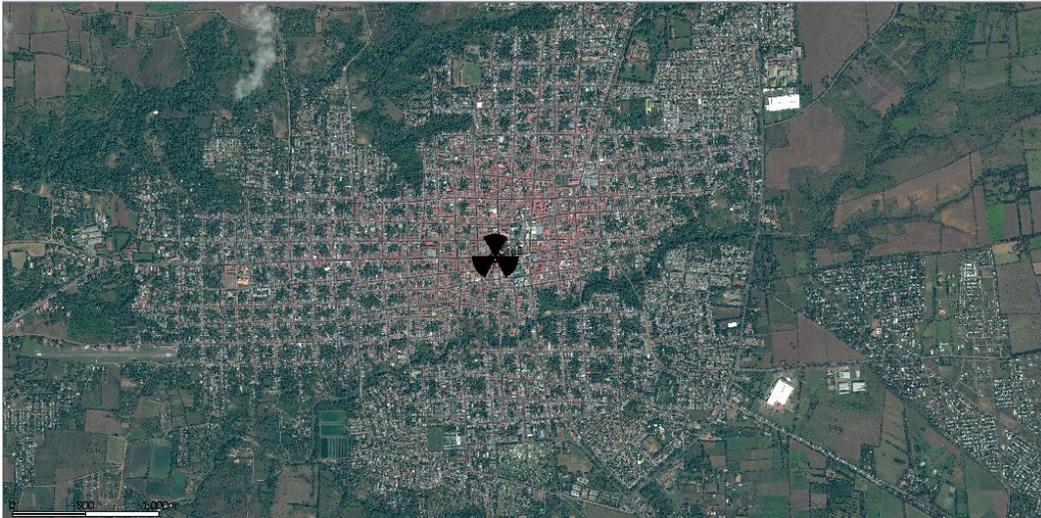


Ilustración 58 - Estación base en el centro de la ciudad de León

07) Vuelva a la barra de herramientas Radio Planning. Elija UMTS:Urban y agregue una nueva antena en el mismo punto que la anterior. Haga lo mismo con LTE:Urban.

08) En el Panel Network Explorer (Si no se muestra, haga clic en View >> Network Explorer), despliegue el contenido de la carpeta Sites. A continuación, haga clic derecho en Site0 y vaya a Propiedades.

09) En el cuadro de diálogo Site0 Properties, configure lo siguiente:

En la pestaña General, en la sección Position: X = -9,671,386m; Y = 1,386,066m

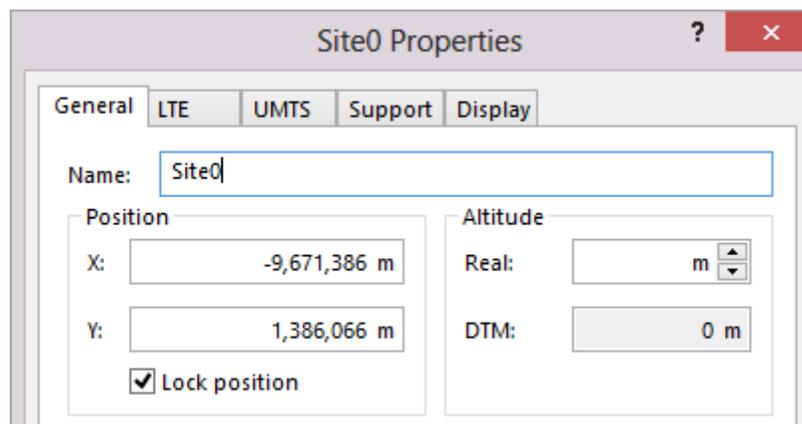


Ilustración 59 – Propiedades generales del emplazamiento Site0

En la Pestaña Support, configure:

Support height: 45m

Sport type: Microwave Tower

Seguidamente haga clic en Aceptar.

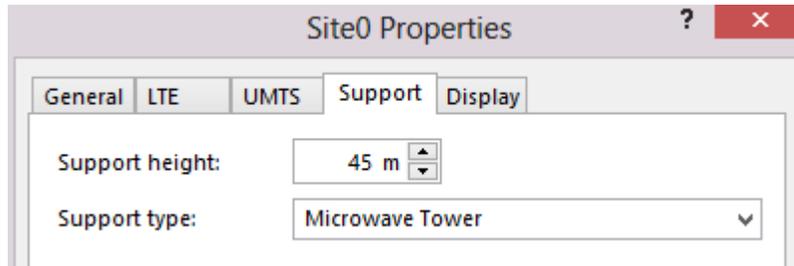


Ilustración 60 - Propiedades de soporte de la estación base en Site0

10) Siguiendo los pasos del ejercicio 0, cambia color de cada una de los tipos de antena. El resultado será como el de Ilustración 61.

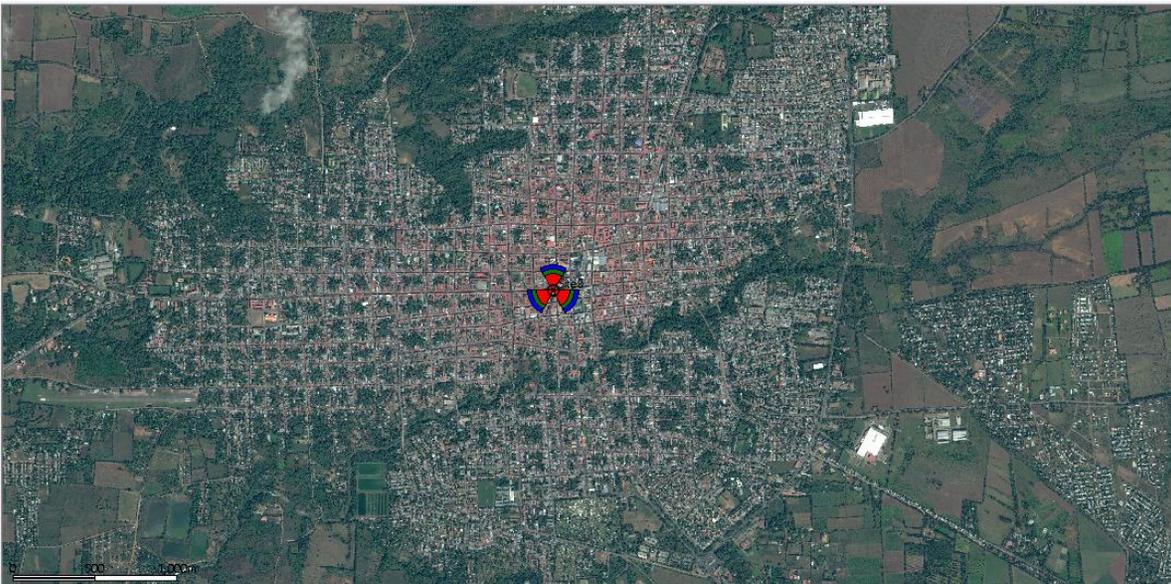


Ilustración 61 - Emplazamiento en el centro de León. Transmisores clasificados por colores.

Observación: Seguiremos utilizando este mismo proyecto para los ejercicios posteriores. Es aconsejable que lo guarde, y en los próximos ejercicios trabaje en una copia.

Ejercicio 5: Creando una zona de cálculo.

Los cálculos de cobertura y predicciones no suelen hacerse sobre todo el mapa, sino que puede organizarse esta acción por zonas. Estas zonas son llamadas zonas de cálculo.

- 1) Abra una copia del ejercicio anterior.
- 2) En el panel Geo Explorer, despliegue la carpeta Zones.
- 3) En el ítem Computation Zone, haga clic derecho, luego elija Draw Polígono.

4) Dibuje un polígono en el mapa, en la zona donde desea realizar el cálculo.

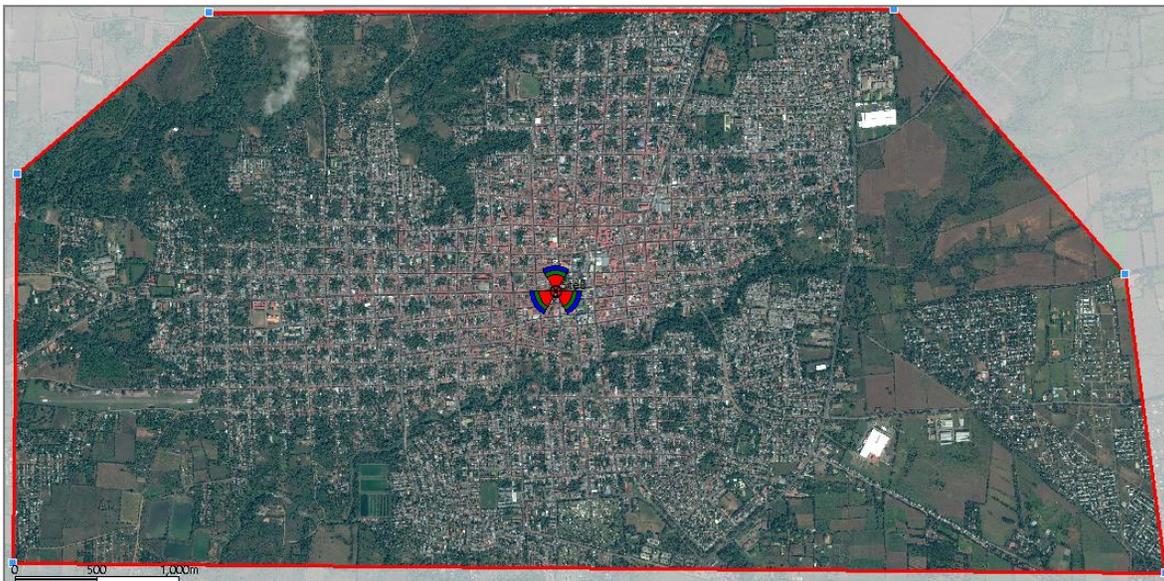


Ilustración 62 - Zona de cálculo para el proyecto Multi-RAT

EXTRA:

5) Si desea usar esta misma zona en ocasiones posteriores, puede exportarla como archivo vector .mif

Clic derecho en Computation Zone, luego Export. Guárdela en la ubicación que prefiera.

6) Para recuperar una zona guardada, por ejemplo, la zona de ejemplo, haga clic derecho en Computation Zone, luego Import.

7) En la carpeta Materiales\Práctica 1 - Características generales\Zona, elija Computation_Zone.mif

8) En el cuadro de diálogo Vector Import, en el campo Import to, elija Computation Zone, seguidamente haga clic en Import.

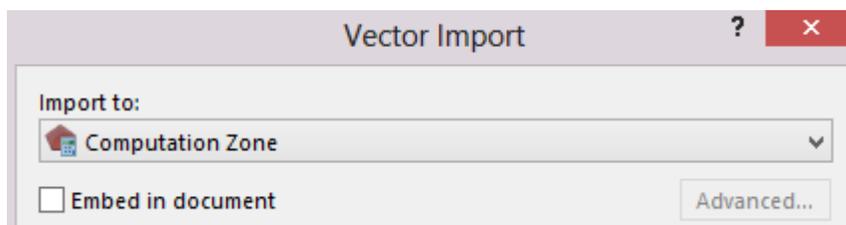


Ilustración 63 - Importación de una zona de cálculo al proyecto Multi-RAT

En los ejercicios que se realizarán a continuación, se utilizará sólo los transmisores GSM del proyecto.

Ejercicio 6: Predicciones.

01) Abra una copia del proyecto del ejercicio anterior.

02) En este momento, el panel Network Explorer debería estar con todos los ítems activados, excepto Hexagonal Design.

03) Desactive las casillas de las carpetas LTE Transmitters y UMTS Transmitters. De manera de dejar activa solamente la de GSM.

04) En la carpeta GSM Transmitters, haga clic derecho >> Properties.

05) En la pestaña Display del cuadro de diálogo GSM Transmitters Properties, cambie el valor del campo Display Type por Automatic. Seguidamente haga clic en Aceptar.

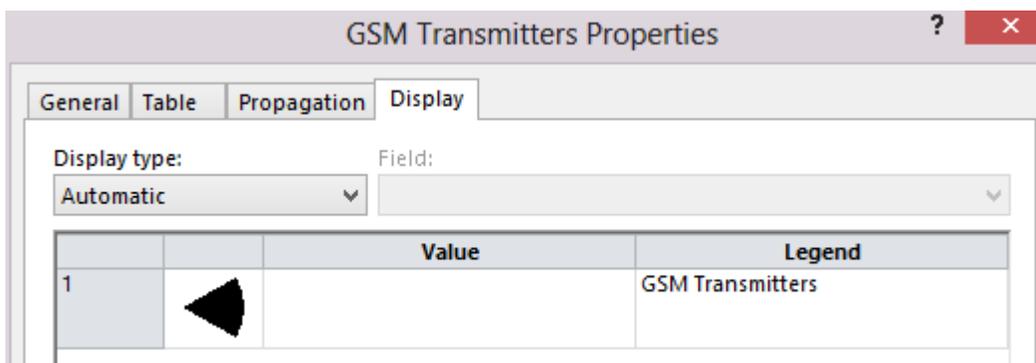


Ilustración 64 - Selección de visualización automática de la visualización de transmisores

06) En la carpeta GSM Transmitters, Haga clic derecho, luego Group By >> Frequency Band. Al desplegar la carpeta GSM Transmitters obtendremos una subcarpeta llamada GSM 900, como se muestra en la figura.

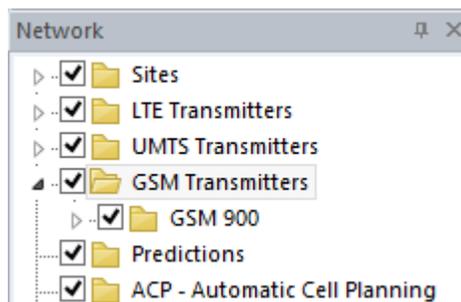
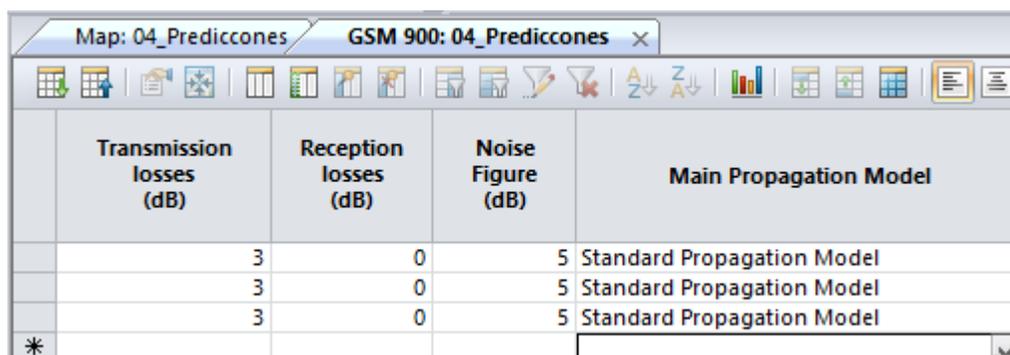


Ilustración 65 - Agrupación de transmisores GSM por banda de frecuencia

07) Haga clic derecho >> Open Table sobre la carpeta GSM 900.

08) En la tabla obtenida ubique el campo Main Propagation Model, Cambie los valores de todos

los registros por Standard Propagation Model.



	Transmission losses (dB)	Reception losses (dB)	Noise Figure (dB)	Main Propagation Model
	3	0	5	Standard Propagation Model
	3	0	5	Standard Propagation Model
	3	0	5	Standard Propagation Model
*				

Ilustración 66 - Asignación de un modelo de propagación para los transmisores GSM 900

Ya estamos listos para empezar a hacer predicciones sobre GSM.

09) En la carpeta Predictions, haga clic derecho >> New.

10) En el cuadro de diálogo Prediction Types, despliegue Standard Predictions GSM, luego elija Coverage By Signal Level (DL). Finalmente haga clic en OK.

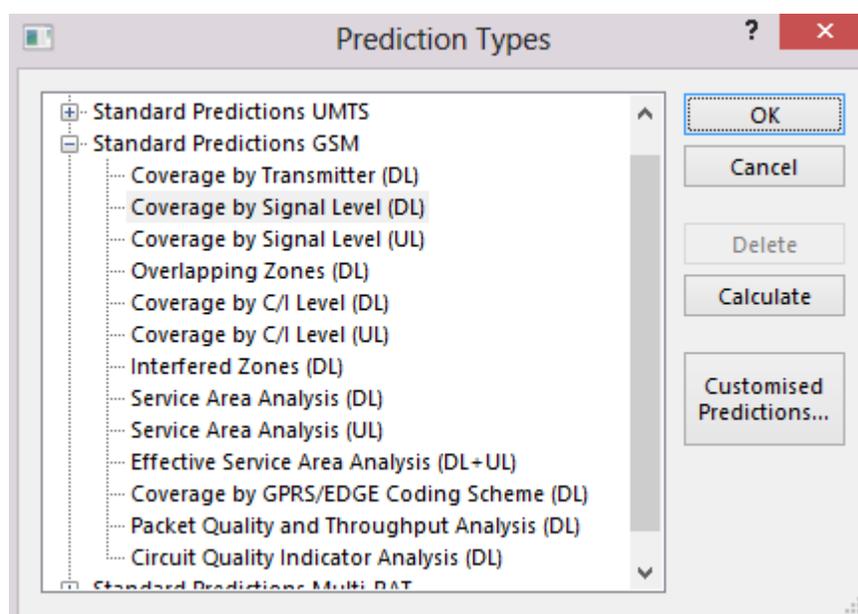


Ilustración 67 - Tipos de predicciones estándares para GSM

11) En el cuadro de diálogo GSM: Coverage by Signal Level (DL) Properties, haga clic en el botón de la esquina superior izquierda (Es una flecha hacia abajo). Elija Global C threshold.

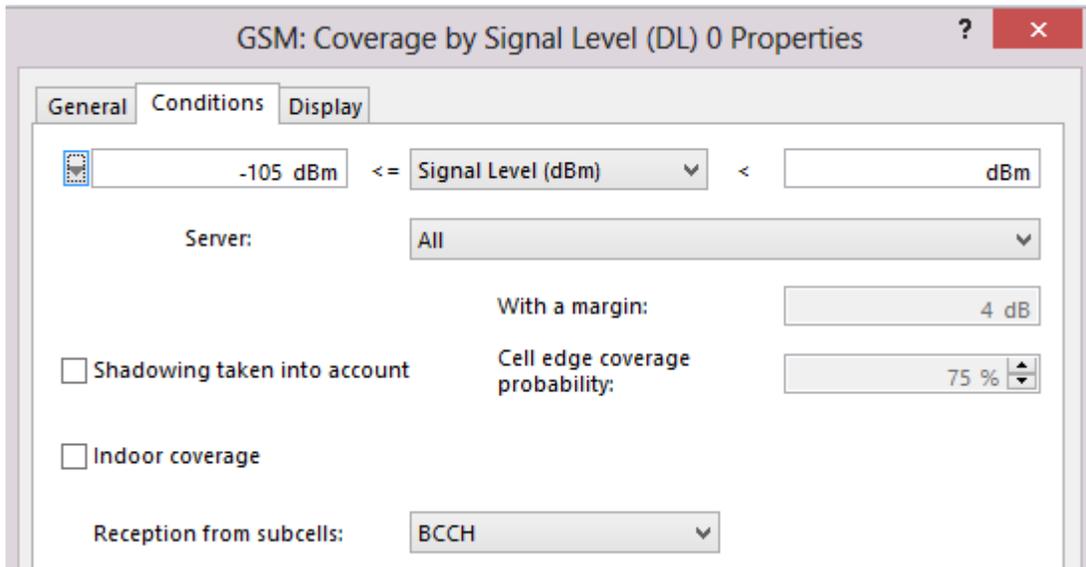


Ilustración 68 - Propiedades de predicción por nivel de señal GSM

12) En la pestaña Display, pulse el botón Actions, y luego Shading.

En el cuadro de diálogo Shading, escriba los siguientes valores para los campos:

First Break: -70

Last Break: -105

Interval: -5

Pulse OK.

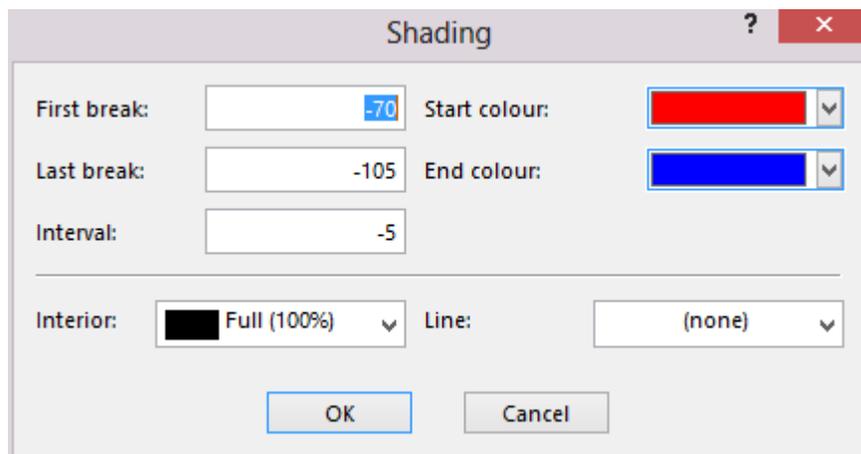


Ilustración 69 - Configuración de colores para la predicción

13) En el cuadro de diálogo GSM: Coverage by Signal Level (DL) Properties, pulse el botón

Calculate. El resultado será como el que aparece en la figura.

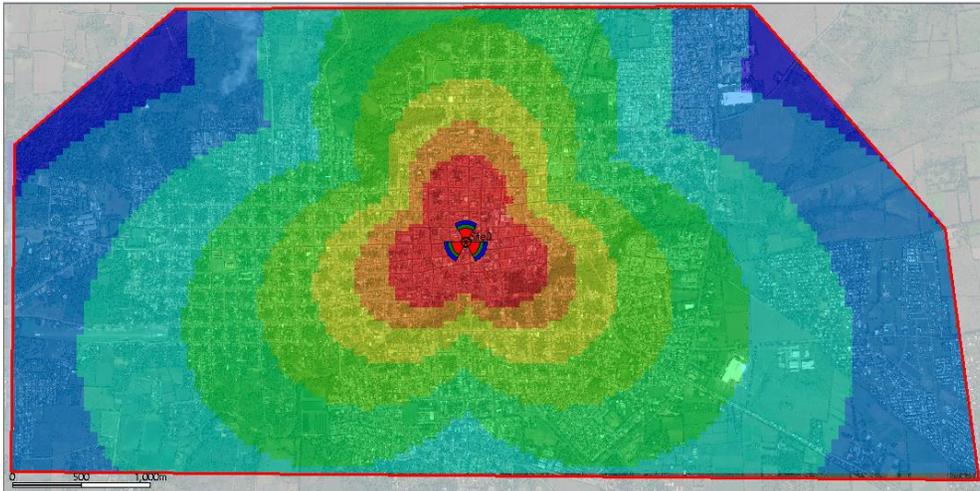


Ilustración 70 - Cobertura por nivel de señal

14) A continuación vamos a generar un informe del cálculo generado.

Clic derecho >> Generate Report sobre la predicción GSM generada. La predicción se encuentra en la carpeta Predictions del panel Network Explorer.

15) En el cuadro de diálogo Columns to be Displayed, marcaremos tres opciones: Surface, % of Covered Area y % Computation Zone, tal como se indica en la ilustración.

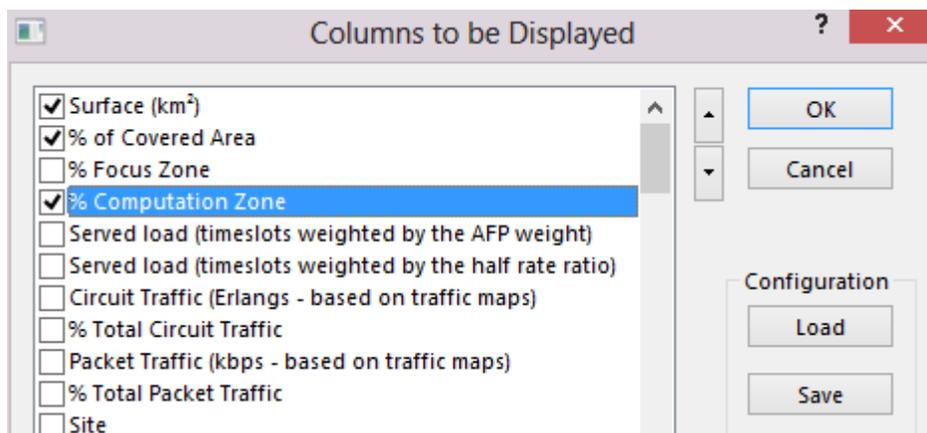


Ilustración 71 - Selección de columnas para el informe de la predicción

Finalmente, pulse OK.

Se generará una tabla con el informe de cobertura para la predicción.

Name	Surface (km ²)	% of Covered Area	% Computation Zone
GSM: Coverage by Signal Level (DL) 0	21.235	100	99.8
Best Signal Level (dBm) >=-70	0.882	4.154	4.1
Best Signal Level (dBm) >=-75	1.65	7.77	7.8
Best Signal Level (dBm) >=-80	3.083	14.518	14.5
Best Signal Level (dBm) >=-85	5.755	27.101	27.1

Ilustración 72 - Reporte de cobertura por nivel de señal

16) Con lo anterior, hemos generado una predicción de cobertura por estación base. Ahora vamos a generar un informe de cobertura por transmisor.

En la carpeta Predictions, clic derecho >> New Prediction.

17) Despliegue GSM, y elija Coverage By Transmitter (DL). Pulse OK.

18) En el cuadro de diálogo GSM: Coverage by Transmitter (DL) Properties, pulse el botón que aparece en la esquina superior izquierda (Una flecha hacia abajo) y elija Global C threshold.

Asigne el valor Best Signal Level al campo Servers.

En el campo With a margin, asigne un valor de 0dB.

Ilustración 73 - Propiedades de predicción de cobertura por transmisor

Finalmente, haga clic en Calculate.

El resultado será similar al de la figura.



Ilustración 74 - Predicción de cobertura por transmisor

19) Siguiendo los pasos 14 y 15, genere un reporte para esta predicción.

20) A continuación vamos a generar una predicción parecida a la anterior, pero dejando un margen de intersección de la señal para los transmisores.

Vaya a la carpeta Predictions, haga clic derecho >> New Prediction.

21) En el botón que está en la esquina superior izquierda, elija Global C threshold.

En el campo server, elija Best Signal Level.

En el campo With a margin, asigne un valor de 4 dB.

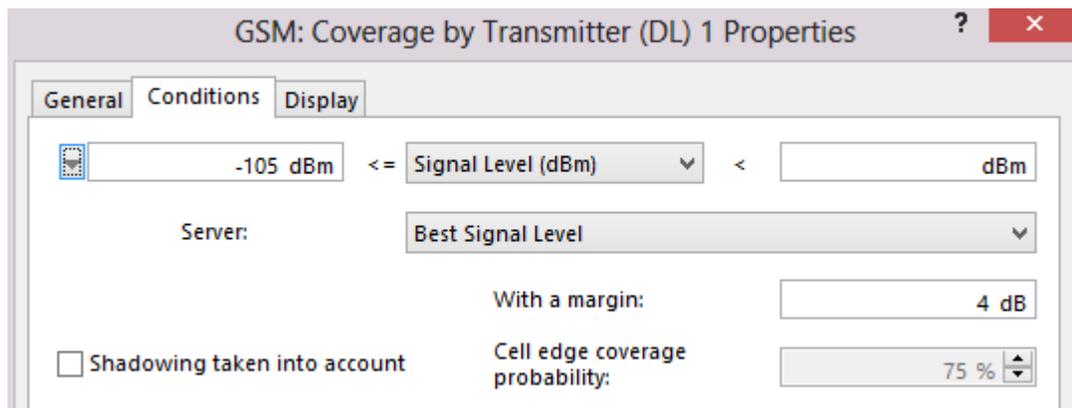


Ilustración 75 - Cobertura por transmisor con margen de 4dB

Clic en Calculate.

El resultado será similar al de la figura.



Ilustración 76 - Predicción por transmisor con margen de 4dB

22) Genere un informe para esta predicción.

23) A continuación vamos a hacer uso de la herramienta Point Analysis, para ver datos específicos de cobertura en un punto arbitrario de la ciudad. Haga clic en la Herramienta Point Analysis de la barra de herramientas Radio Planning.



Ilustración 77 - Herramienta Point Analysis

24) En el panel Point Analysis que aparece abajo, elija GSM - Reception.

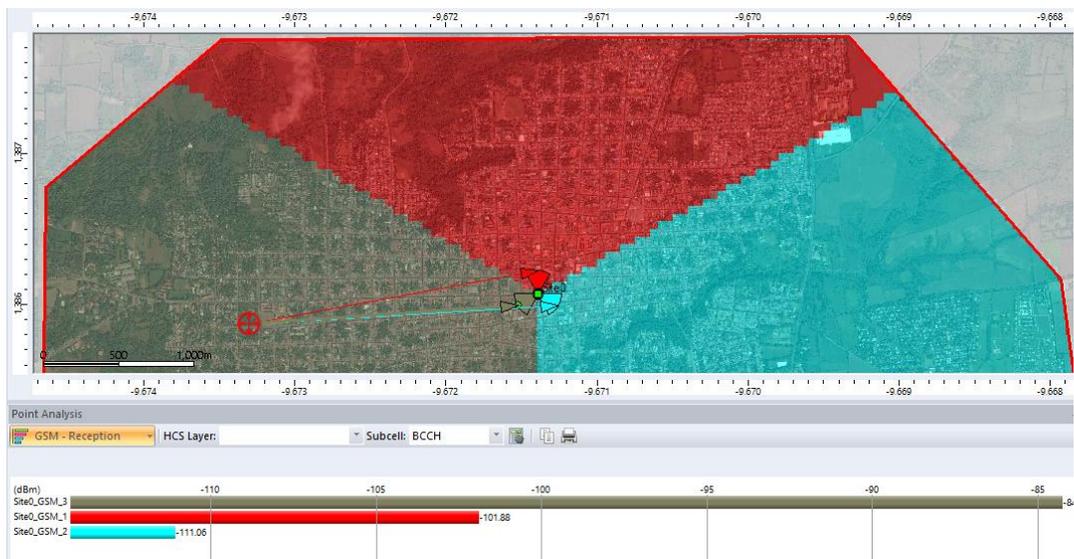


Ilustración 78 - Pruebas de funcionamiento de Point Analysis

25) Mueva el punto por diferentes ubicaciones dentro del mapa y vea los resultados.

26) Cierre el panel Point Analysis.

27) Para hacer las predicciones se toma en cuenta también la altura a la que ha sido colocada la antena. Hasta el momento se ha calculado con antenas a una altura de 20m. En los pasos siguientes, vamos a hacer una nueva predicción para una altura de 40 metros en cada antena.

En la carpeta Predictions, copie la predicción GSM: Coverage by Signal Level (DL) 0. Clic derecho >> Clone sobre la predicción.

Cambie nombre a la predicción nueva por GSM: Coverage by Signal Level 40m. Nótese que es la que está desbloqueada (La que no tiene el símbolo de candado).

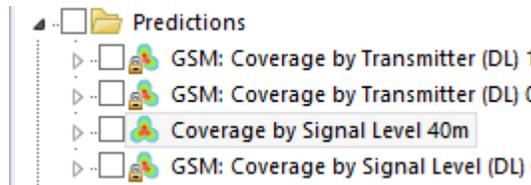


Ilustración 79 - Predicción por nivel de señal a 40m de altura

28) En la carpeta GSM Transmitters, haga clic derecho >> Open Table.

Busque el campo Height (m), cambie el valor de todos los transmisores a 40m.

Antenna	DX (m)	DY (m)	Height (m)	Azimuth (°)
900MHz 65deg 17dBi 2Tilt	0	0	40	0
900MHz 65deg 17dBi 2Tilt	0	0	40	120
900MHz 65deg 17dBi 2Tilt	0	0	40	240
*				

Ilustración 80 - Configuración de altura de los transmisores

29) Haga clic en el botón Calculate de la barra de herramientas Radio Planning.

30) Desde el panel Network Explorer, active o desactive las casillas correspondientes a las predicciones para ver una a la vez. Compare los resultados.

Práctica de laboratorio 2 – Planificación de una red GSM

Competencias:

Después de realizada esta práctica el estudiante será capaz de:

- Explicar el proceso de planificación de una red GSM.
- Conocer los parámetros que influyen en la planificación de una red GSM.
- Entender conceptos propios de la tecnología GSM.

Temporización:

El plazo de realización de esta práctica será de dos sesiones de laboratorio.

Bibliografía:

- Forsk 2011, Atoll Getting Started-GSM Version 3.1.0.
- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 User Manual Radio.
- Carlos Gavilán, 2008, Diseño y simulación de la Red GSM-R de la línea de alta velocidad Sevilla-Córdoba.

Requerimientos mínimos

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz.
 - RAM: 1 GB.
- Software:
 - Windows XP
 - Atoll Versión 3.3
 - Global Mapper 16.1
 - Microsoft Excel 2007

Conocimientos Previos

- Conocer las características básicas de Atoll.
- Conocer los conceptos básicos de la tecnología GSM.

Consideraciones preliminares

Al planificar una red de radio, es importante tomar en cuenta muchos aspectos. Entre ellos, se resaltan los siguientes:

- 1) La forma del terreno (relieve) y la ubicación de los edificios, y los efectos que éstas tengan sobre la señal de radio transmitida (Reflexión, Refracción, Dispersión). Esta información sirve para decidir qué modelo de propagación se debe usar.
- 2) El rango de frecuencias disponible. Por definición, GSM trabaja principalmente en dos rangos de frecuencias: 900MHz y 1800MHz. No obstante, el espectro radioeléctrico es un recurso natural, y cada país regula el uso del espectro a través de alguna entidad reguladora (TELCOR, en el caso de Nicaragua), y son ellos quienes al final deciden el rango que puede utilizar cada compañía.
- 3) Los equipos a utilizar. Aunque la potencia de la señal máxima está determinada por la entidad reguladora, el tipo de equipos utilizados son los responsables de alcanzar dicha potencia. El tipo de equipo también define el modelo de cobertura, lo cual, a la vez, influye en el tamaño de celda a utilizar.
- 4) Los servicios que se quieren brindar. Hay servicios que requieren más potencia de la señal que otros. Esto determinará la potencia mínima de la señal que se debe tener en el área de la celda.
- 5) La cantidad de usuarios. El espectro radioeléctrico es un recurso limitado, y para poder atender a muchos usuarios conectados a la vez, se debe optimizar el uso del espectro. Esto determina el ancho del canal y la cantidad de canales en un rango de frecuencias.
- 6) La altura de los transmisores y receptores. Mientras más altos tengamos los equipos, tendremos más área de cobertura; no obstante, tendremos una cobertura menos enfocada. Además, se debe tomar en cuenta la estandarización de las alturas de antenas propuesta por la entidad reguladora. Para nuestro caso, las alturas máximas propuestas por TELCOR son: 45m en la zona rural y 36m en la zona urbana.

Existen otras consideraciones, como la rentabilidad que tiene para la empresa montar una nueva estación base, y condiciones propias del terreno, o de la legalidad de la propiedad en donde quiere ubicarse la estación. No obstante, para efectos de esta práctica, estas consideraciones no serán tomadas.

Descripción del escenario de la práctica.

La empresa INTELTON desea implementar una red celular en el departamento de León, esto incluye León, Telica y Quezalguaque. Las características técnicas de esta red serán las siguientes:

- ✓ Se utilizarán cuatro entornos diferentes: urbano, sub-urbano, rural y carretera, teniendo en cada caso las velocidades de movilidad del usuario, como se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8 - Velocidad máxima de usuarios por entorno GSM

Entorno	Velocidad máxima
Urbano	10Km/h
Sub-urbano	10Km/h
Rural	90Km/h
Carretera	90Km/h

- ✓ El rango de frecuencias a utilizar será de 800MHz a 950MHz, con un ancho de canal de 200KHz en todos los entornos. Éste estará dividido en dos secciones: de 800 a 850MHz será para los canales broadcast (BCCH), y de 850 a 950MHz será para los canales de tráfico (TCH).
- ✓ Se requiere un nivel de señal mínimo de -85dbm en el área urbana, sub-urbana y carretera, y de -95dbm en el área rural.
- ✓ Se tiene una densidad de 1500 usuarios por kilómetro cuadrado en el área urbana, 700 en el entorno sub-urbano, 100 en carretera, y de 50 usuarios por kilómetro cuadrado en la zona rural.
- ✓ La empresa ofrece servicios de llamadas, Internet móvil, mensajes multimedia y VoIP, a dos tipos de usuarios: Usuario comercial (Business User) y usuario normal (Standard User).
- ✓ Se utilizará el modelo de propagación Okumura-Hata para este escenario.

Ejercicio 0: Elaboración de mapas DTM y carretera.

Cuando generamos un mapa de altimetría con Global Mapper, éste tenía información visual sobre el relieve del área de trabajo. No obstante, el mapa no incluye información de alturas de cara al programa (Atoll). Para guardar un mapa que sí incluya información sobre la altura del territorio, el mapa debe ser DTM (Digital Terrain Map). En esta práctica utilizaremos dos mapas, el mapa de carreteras, que nos servirá para ubicarnos con cierta precisión, y el mapa de altimetría o DTM.

Mapa de carreteras.

En Global Mapper, genere un mapa de carreteras desde la fuente MapQuest OpenStreetMap.

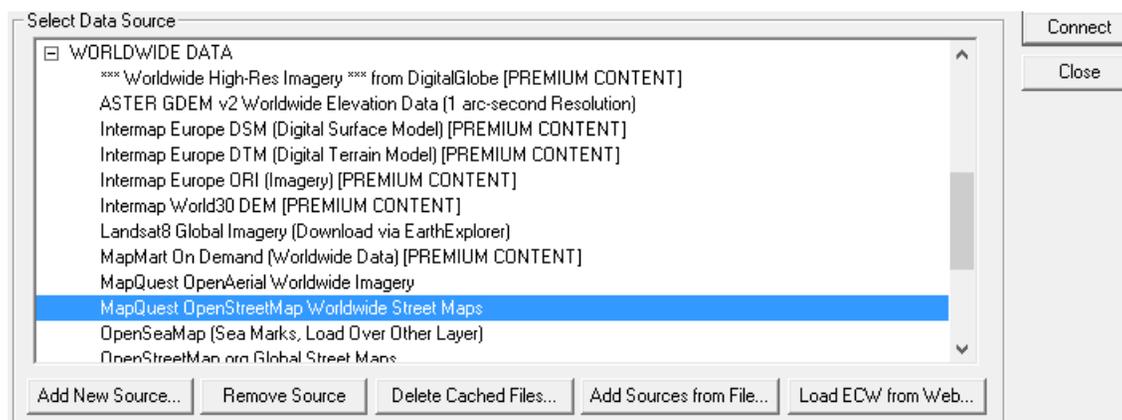


Ilustración 81 - Selección de la fuente en Global Mapper

En el cuadro de diálogo resultante, en la pestaña Options, en el campo Sample Spacing, asigne un espacio de cinco metros para ambas coordenadas.

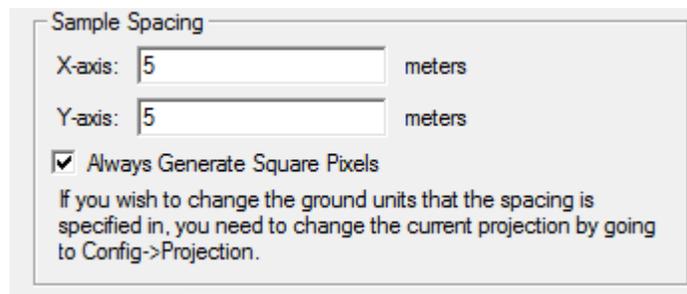


Ilustración 82 - Configuración del campo Sample Spacing en Global Mapper

Guarde el archivo en la carpeta donde guardará el proyecto.

Mapa de altimetría.

En el mismo proyecto de Global Mapper, sin mover el mapa, descargue un mapa de altimetría desde la fuente ASTER GDEM Worldwide Elevation Data, de la sección TERRAIN DATA.

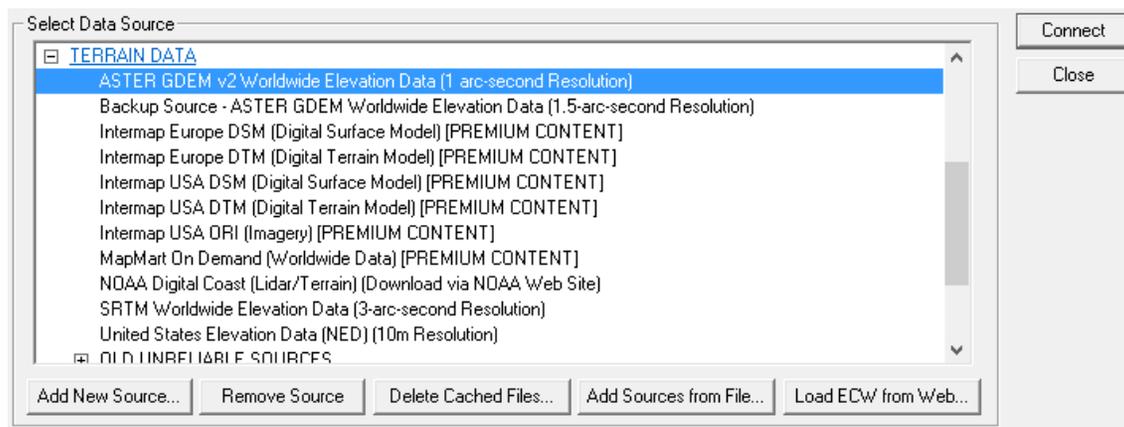


Ilustración 83 - Selección de la fuente ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data

Exporte al mapa a la carpeta donde trabajará todo el proyecto.

Ejercicio 1: Creando un nuevo proyecto en Atoll.

Cree un nuevo proyecto Atoll partiendo de la plantilla GSM-GPRS-EDGE.

File >> New >> From a Document Template.

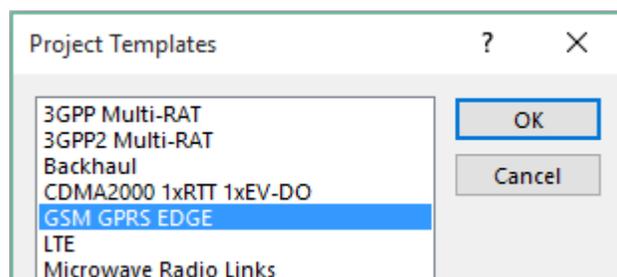


Ilustración 84 - Seleccionando plantilla GSM GPRS EDGE en Atoll

Elija GSM-GPRS-EDGE, luego pulse OK.

Importe cada uno de los mapas creados.

File >> Import.

El mapa de altimetría debe ser reconocido como DTM en el programa.

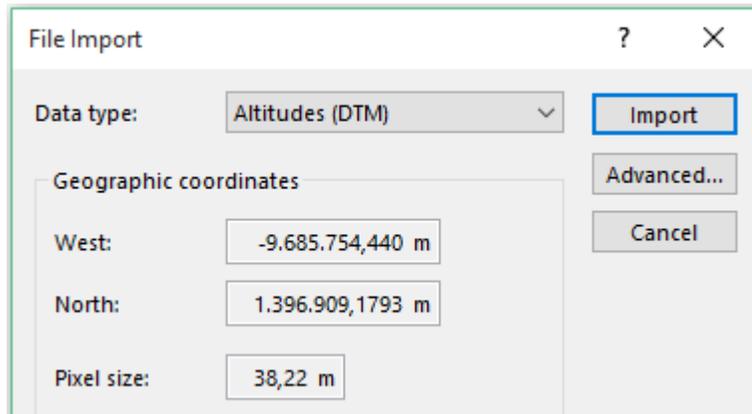


Ilustración 85 - Importación de un mapa DTM en Atoll

Mientras que el mapa de carreteras es reconocido como imagen.

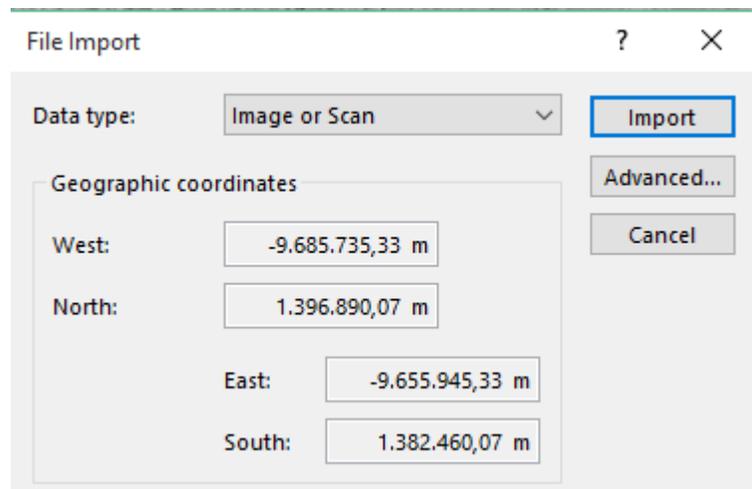


Ilustración 86 - Importación de un mapa Scan en Atoll

Una vez importados ambos mapas, desactive la visualización de Terrain Map, para que pueda ver el mapa de carreteras. En el panel Geo Explorer, desactive Digital Terrain Model.

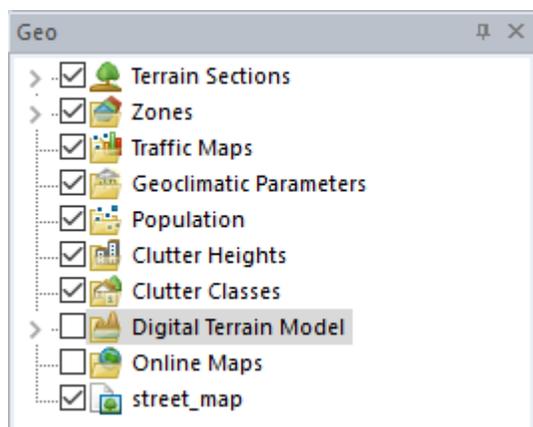


Ilustración 87 - Desactivando la visualización de DTM

Guardé el proyecto. Recuerde guardarlo en una ubicación fija.

Ejercicio 2: Definiendo rangos frecuencias.

Rango para BCCH: de 800 a 850 MHz.

Rango para TCH: de 850 a 950MHz.

Aunque ya existan rangos definidos en la plantilla GSM-GPRS-EDGE, para efectos de esta práctica se va a configurar rangos personalizados para la empresa.

En el panel Parameters, despliegue la carpeta Radio Network Settings, y a continuación, despliegue la carpeta Frecuencias.

Aquí se van a configurar tres tablas: Bands, Domains y Groups.

La tabla Bands contiene los rangos de frecuencias (bandas), el ancho de cada canal dentro del rango, y la numeración de los canales. Agregue dos bandas (GSM 800 INTELTON y GSM 850 INTELTON) de la forma que se muestra a continuación:

Name	Frequency (MHz)	Channel width (kHz)	First channel	Last channel
GSM 850	869	200	128	251
GSM 450	460,4	200	259	293
GSM 480	488,8	200	306	340
GSM 1800	1.805	200	512	885
GSM 1900	1.930	200	512	810
GSM 900	935	200	955	124
GSM 800 INTELTON	800	200	975	999
GSM 850 INTELTON	850	200	1.000	1.023

Ilustración 88 - Agregando dos bandas de frecuencia GSM

Nota: La banda GSM 900, en Atoll define ciertos números de canal para diferentes variaciones del GSM: Del 1 al 124 P-GSM (GSM primitivo), del 955 al 974 R-GSM (GSM ferroviario) y del 975 al 1023 y el 0, para E-GSM (GSM extendido). Si el máximo número de canales es 1024, el que sigue después de 1023 es el 0. En la presente práctica, se utilizará el rango para GSM

extendido.

Para efectos de esta práctica, utilice los canales, del 975 al 999 para GSM 800 INTELTON, y del 1000 a 1023 para GSM 850 INTELTON.

La tabla Domains contiene nombres de dominio, cada dominio trabaja con una banda.

Cree un dominio para cada una de las bandas creadas.

	Name	Frequency Band
	E-GSM 900 Domain	GSM 900
	GSM 1800 Domain	GSM 1800
	GSM 1900 Domain	GSM 1900
	GSM 450 Domain	GSM 450
	GSM 480 Domain	GSM 480
	GSM 850 Domain	GSM 850
	GSM 900 Domain	GSM 900
	P-GSM 900 Domain	GSM 900
	R-GSM 900 Domain	GSM 900
	GSM 800 INTELTON	GSM 800 INTELTON
	GSM 850 INTELTON	GSM 850 INTELTON

Ilustración 89 - Creación de dominios para las bandas de frecuencia agregadas

La tabla Groups contiene la forma en que se agrupan los canales dentro del rango de frecuencias pertenecientes a un dominio.

Cree un grupo que incluya de uno en uno todos los canales antes registrados en las nuevas bandas.

Domain	Group	Min	Max	Step
R-GSM 900 Domain	R-GSM Group 01 5x6 A	23	48	5
R-GSM 900 Domain	R-GSM Group 0 BCCCH	0	22	1
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 02 3x24 C	55	124	3
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 02 3x24 B	54	123	3
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 02 3x24 A	53	122	3
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 01 5x6 E	27	52	5
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 01 5x6 D	26	51	5
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 01 5x6 C	25	50	5
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 01 5x6 B	24	49	5
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 01 5x6 A	23	48	5
P-GSM 900 Domain	P-GSM Group 0 BCCCH	1	22	1
GSM 850 INTELTON	GSM INTELTON Group 2	1.000	1.023	1
GSM 800 INTELTON	GSM INTELTON Group 1	975	999	1

Ilustración 90 - Creación de grupos de bandas de frecuencias

Ejercicio 3: Definiendo tipos de movilidad.

En este proyecto habrá tres tipos de movilidad: 3Km/h, 10Km/h y 90 Km/h.

En el panel Parameters, despliegue la carpeta Trafic Parameters, luego expanda la carpeta Mobility Types. Como puede verse, la plantilla trae definidos algunos tipos de movilidad: Pedestrian (3Km/h) y 90Km/h. Añada el que falta (10Km/h).

En la carpeta Mobility Types, haga clic derecho, luego elija New. Verá una ventana como la

siguiente:

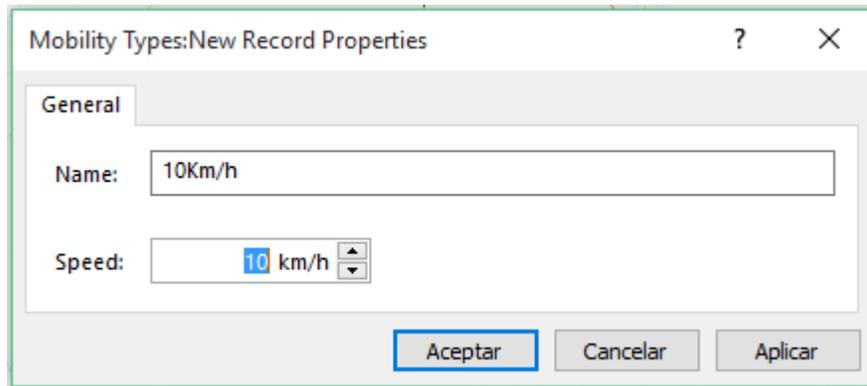


Ilustración 91 - Agregando el tipo de movilidad 10Km/h

Ejercicio 4: Uso de capas HCS.

Las capas HCS desempeñan varias tareas en Atoll. Fundamentalmente, sirven para asignar prioridad a los tipos de celda, y la velocidad máxima de la movilidad en esa celda.

En el panel Parameters, despliegue la carpeta Radio Network Settings, y haga doble click en la tabla HCS Layers.

Name	Priority (0:lowest)	Max Speed (km/h)	Layer Reception Threshold (dBm)
Macro Layer	2	100	-130
Micro Layer	3	10	-130
Umbrella Layer	1	300	-130

Ilustración 92 - Prioridad de las capas HCS en GSM

La plantilla trae tres capas HCS por defecto. De estas, las que nos interesan son: Macro Layer y Micro Layer. Note que se ajustan a los requerimientos del proyecto, por lo cual no haremos cambios en esta sección.

Ejercicio 5: Configurando servicios.

La empresa ofrece cuatro servicios: llamadas, MMS, Internet móvil y VoIP. Las características de estos servicios ya vienen configuradas en la plantilla GSM-GPRS-EDGE, a excepción de la prioridad, la cual vamos a configurar de la forma como se ve en la Ilustración 93. Para ver esta tabla, vaya al panel Parameters, luego a la carpeta Traffic Parameters, y finalmente, haga clic derecho >> Open Table, sobre la carpeta Services.

Name	Type	Priority (0:lowest)
Mobile Internet Access	Packet (M	1
Multimedia Messaging Service	Packet (M	0
Voice	Circuit	3
VoIP	Packet (Co	2

Ilustración 93 - Configuración de servicios para GSM

La prioridad cero (0) es la más baja.

En el caso de las demás características, vamos a dejar las que vienen predefinidas en Atoll.

Ejercicio 6: Introduciendo datos de los terminales

Nota: En lo sucesivo, vamos a enfocarnos en el servicio de llamadas.

No se puede elegir arbitrariamente un rango de frecuencias. Se debe tener en cuenta que los dispositivos que se van a conectar tienen un rango definido de frecuencias con las que pueden funcionar.

Para esta práctica, haremos una ligera modificación en el rango de los terminales que usan tecnología GSM.

En el panel Parameters, elija Traffic Parameters, luego Terminals.

Abra las propiedades de GSM 900 1800. En el cuadro de diálogo resultante, elija la pestaña GSM y modifique las propiedades de la manera siguiente:

Frequency Bands

Main band: GSM 800 INTELTON ▼

Secondary band: GSM 850 INTELTON ▼

Noise figure: 8 dB

Technology: GSM ▼

Codec configuration: Adaptive Multi-Rate ▼ ...

Ilustración 94 - Configuración de un terminal de 800MHz para GSM

Ejercicio 7: Configurando perfiles de usuario.

En este apartado, vamos a definir el uso promedio que cada tipo de usuario hace de cada servicio. Por el momento, solamente definiremos el uso de servicio de llamadas.

Vaya al panel Parameter, luego a Trafic Parameters, y ahora elija User Profiles.

Vamos a tener dos tipos de usuarios, solamente, así que no hay necesidad de crear uno nuevo. En cada perfil de usuario, haga doble clic para poder configurar las propiedades.

Para el tipo de usuario Bussines User, ajuste los parámetros de la manera siguiente:

Name

Service use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	DL Volume (KBytes)	UL Volume (KBytes)
	Voice	GSM 900 1800	0,4	300		
*						

Ilustración 95 - Configuración del perfil Bussines User para GSM

Para el tipo de usuario Standard User, haga la siguiente configuración:

Name

Service use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	DL Volume (KBytes)	UL Volume (KBytes)
	Voice	GSM 900 1800	0,2	240		
*						

Ilustración 96 - Configuración del perfil Standard Users para GSM

Ejercicio 8: Definiendo entornos.

Los entornos definen cuántos usuarios de cada tipo habrá por kilómetro cuadrado y cuál es la velocidad a la que estos se mueven.

En el Panel Parameters, despliegue Trafic Parameters, y luego Evironments. Para configurar las propiedades de cada entorno, haga doble clic sobre el ícono correspondiente.

Los entornos que vamos a configurar en este proyecto son cuatro: Urbano, sub-urbano, rural y carretera.

Agregue un nuevo entorno llamado carretera. Para ello, con el botón derecho del mouse, pulse la carpeta Evironments, luego elija New. Renómbrelo, y luego pulse Aceptar.

Configure cada uno de los entornos de la siguiente manera:

Name: Carretera

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
▶	Business User	90 km/h	90
	Standard User	90 km/h	10
▼			

Ilustración 97 - Configuración del entorno Carretera para GSM

Name: Rural

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Standard User	90 km/h	50
*			

Ilustración 98 - Configuración del entorno Rural para GSM

Name: Suburban

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Standard User	10Km/h	600
↙	Business User	10Km/h	100
*			

Ilustración 99 - Configuración del entorno Suburban para GSM

Name: Urban

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Business User	Pedestrian	500
	Standard User	Pedestrian	1.000
*			

Ilustración 100 - Configuración del entorno Urban para GSM

Ejercicio 9: Configurando plantillas de estaciones base.

En este ejercicio, se debe configurar algunos parámetros de las estaciones base, los equipos, los tamaños de celda y los modelos de propagación.

En el panel Parameters, despliegue Radio Network Settings, y luego Station Templates.

El modelo de propagación que se va a implementar en esta práctica es el Okumura-Hata. Las plantillas que debe modificar son: GSM 900 Urban, GSM 900 Suburban y GSM900 Rural. Haga doble clic en cada una de estas plantillas para modificar sus propiedades.

En la plantilla GSM 900 Urban, ajuste: Hexagon Radius a 550m, y Main Propagation Model a Okumura-Hata.

Name:	GSM 900 Urban		
Sectors:	3	Hexagon radius:	550 m
Path Loss Matrices			
Main propagation model:	Okumura-Hata	Extended propagation model:	(none)
Main radius:	4.000 m	Extended radius:	m
Main resolution:	50 m	Extended resolution:	m

Ilustración 101 - Configuración de la plantilla GSM 900 Suburban GSM

Luego, tanto en GSM 900 Suburban como en GSM 900 Rural, ajuste el modelo de propagación a Okumura-Hata.

Ejercicio 10: Definiendo mapas de tráfico.

En esta sección deberá crear un mapa que defina los sectores del mapa en donde se tendrá un determinado tráfico, en conformidad con los entornos configurados.

Para efectos de esta práctica, el mapa de tráfico será el siguiente:

En la carretera, deberá usarse el entorno de carretera.

En la ciudad de León, el entorno a utilizar será Urban.

En las ciudades de Telica y Quezalguaque, el entorno a utilizar será Suburban.

En el panel Geo, haga clic derecho sobre Trafics Maps, y luego elija New Map...

Verá un cuadro de diálogo como el siguiente.

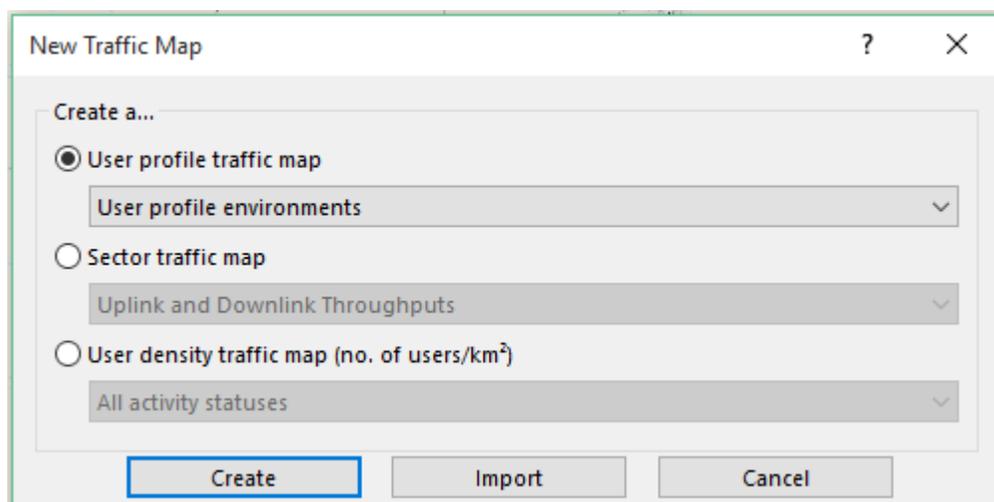


Ilustración 102 - Creando un mapa de tráfico para GSM

La opción que debe estar seleccionada es User profile traffic map, y en la lista desplegable, User profile Environments, tal como se ve en la figura. Pulse Create.

Aparece un cuadro en la esquina superior izquierda del mapa, en el cual vamos eligiendo cada uno de los entornos para trazar el mapa.

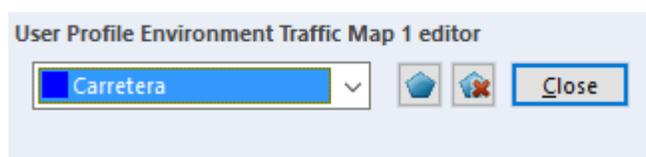


Ilustración 103 - Editor de mapa de tráfico en Atoll

Finalmente, tendremos algo como esto:



Ilustración 104 - Vista general de mapas de tráfico para escenario GSM

Ejercicio 11: Creando un plan automático de estaciones base.

En este apartado se hará un despliegue automático de estaciones base. Esta práctica no evalúa la ubicación real de cada estación.

Las estaciones estarán distribuidas de la siguiente manera:

En la ciudad de León, se usará el tipo de estación GSM Urban.

En Telica y Quezalguaque, se utilizará GSM Suburban.

Tanto en la carretera como en la zona rural, se utilizará GSM Rural.

En la barra de herramientas Radio Planning, elija GSM Urban.



Ilustración 105 - Elección de la plantilla GSM 900 Urban en la barra Radio Planning

A continuación, pulse el botón Hexagonal Design .

Dibuje un polígono que cubra la ciudad de León.

Repita el proceso anterior para cada uno de los entornos diferentes en el mapa.

El resultado será similar al siguiente:

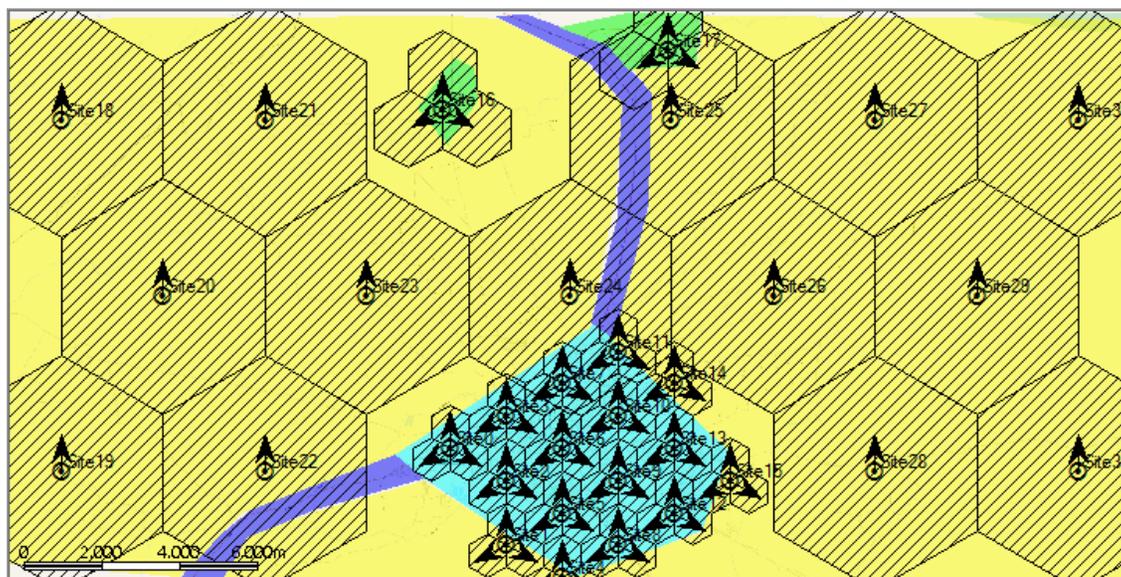


Ilustración 106 - Despliegue hexagonal para escenario GSM

Hasta el momento, cada uno de los transmisores agregados trabaja con la frecuencia predeterminada para GSM 900 (P-GSM 900). Como en este caso en particular, se han definidos ciertos rangos de frecuencias para BCCH y TCH, se debe configurar cada transmisor para que trabaje con las frecuencias configuradas.

En el panel Network, haga clic derecho sobre la carpeta Transmitters, luego elija: Subcells >> Subcells Table: Standard Data.

Aparecerá una tabla con una lista de todos los transmisores como se muestra en la figura.

	Transmitter	TRX Type	Frequency Domain
▶	Site0_1	BCCH	P-GSM 900 Domain
	Site0_1	TCH	P-GSM 900 Domain
	Site0_2	BCCH	P-GSM 900 Domain
	Site0_2	TCH	P-GSM 900 Domain
	Site0_3	BCCH	P-GSM 900 Domain

Ilustración 107 - Configuración por defecto de bandas por transmisor en Atoll

La misión es asignar la frecuencia GSM 800 INTELTON a todos los BCCH, y la frecuencia GSM 850 INTELTON a todos los TCH. Para no tener que hacerlo uno por uno, haremos lo siguiente:

Clic en el botón Advanced Filter  (Aparece en la barra de herramientas de la tabla).

En el cuadro de diálogo, seleccione TRX Type, y marque solamente la casilla BCCH.

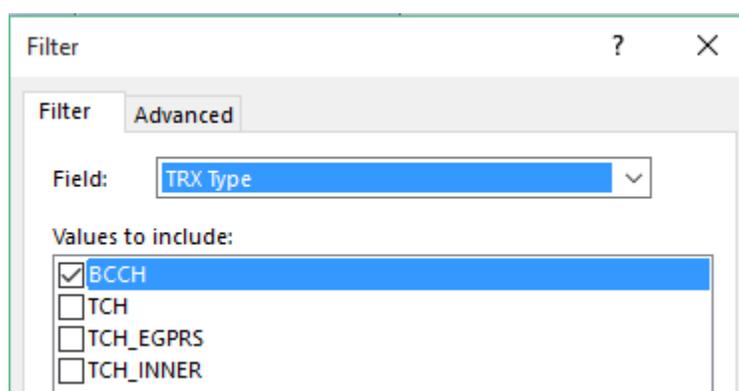


Ilustración 108 - Filtrado de transmisores BCCH

Como resultado, tendrá una lista sólo de transmisores BCCH.

Ahora, haga clic sobre el título de la columna Frequency Domain, para seleccionar todos los datos de la columna, y a continuación pulse el botón reemplazar .

En el cuadro de diálogo resultante, reemplace P-GSM 900 por GSM 800 INTELTON, y finalmente haga clic en Reemplazar todo.

Modifique el filtro creado, y siga los pasos necesarios para reemplazar P-GSM 900 por GSM 850 INTELTON, en todos los rangos TCH de los transmisores.

Finalmente, pulse el botón Remove Filter , para eliminar el filtro.

Ejercicio 12: Definiendo parámetros para cálculo de la relación Señal/Interferencia.

Por defecto, los transmisores no tienen ningún parámetro para el cálculo de la relación Señal/Interferencia, y ésta es necesaria para hacer simulaciones. Para definir un transmisor para este tipo de cálculo, primero debemos agregarlo en una tabla especial para ello.

En el panel Network, haga clic derecho sobre la carpeta Transmitters, luego elija: Subcells >> TRXs Table.

En esta tabla agregaremos a todos los transmisores en el modo CCH y TCH. Podemos usar los parámetros automáticos de la tabla. Los que interesa llenar de forma manual son los siguientes:

Transmitter: El nombre de cada uno de los transmisores.

TRX Type: BCCH o TCH.

Channels: Un número entero entre 975 y 999 para BCCH, y entre 1000 y 1023 para TCH (Los mismos que definimos a la hora de definir las frecuencias utilizadas en esta práctica).

TRX Configuration: Standard.

Transmitter	Index	TRX Type	Channels
Site0_1	0	TCH	1000
Site0_1	68	BCCH	975
Site0_2	1	TCH	1001
Site0_2	69	BCCH	976
Site0_3	2	TCH	1002
Site0_3	70	BCCH	977
Site1_1	3	TCH	1003

Ilustración 109 - Asignación de canales a los transmisores GSM

Nota: Para no tener que llenar línea por línea de esta tabla, podemos generar un archivo .csv desde Excel. Vea el archivo trx.csv en la carpeta materiales.

Una vez listo este archivo puede importarlo desde el ícono import  de esta tabla.

Ejercicio 13: Predicciones.

Es posible que el plan creado le haya quedado con ciertos vacíos como el mostrado en la figura. Antes de comenzar a solucionar este problema, vamos a hacer las predicciones, pues de esta manera podremos pensar en una solución más acertada.

Comience evaluando el nivel de señal que hay en cada punto del mapa.

Observación: Para ver de una mejor manera el mapa, desactive los elementos que no necesita visualizar. Por ejemplo: En el panel Geo, desactive Traffic Map y Digital Terrain Model; y en el panel Network, desactive Hexagonal Design.

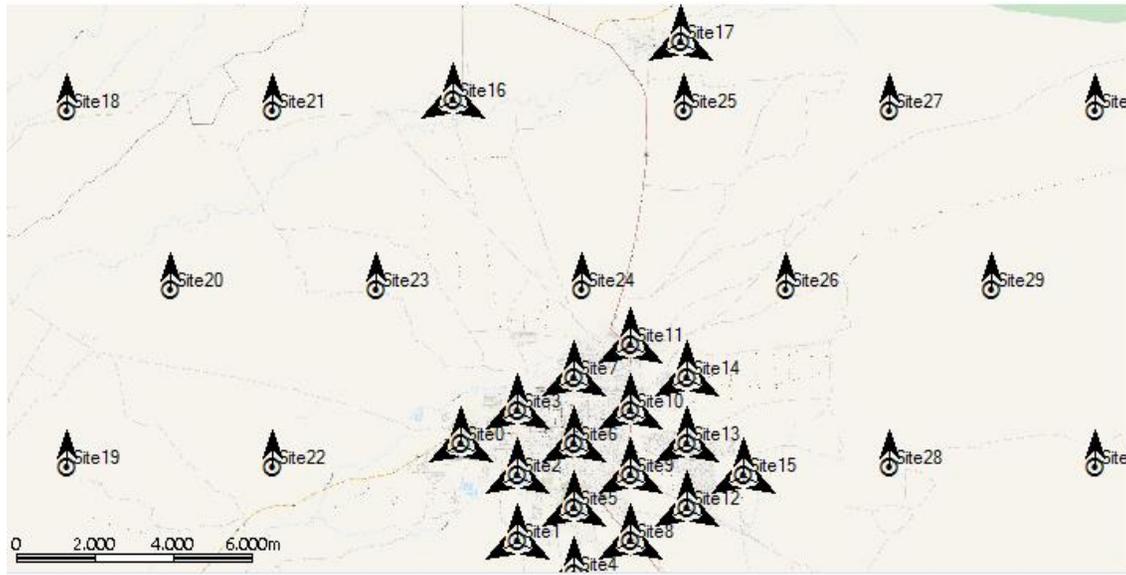


Ilustración 110 - Vista general del mapa antes de las predicciones GSM

Antes de proceder, es importante que genere predicciones sobre el área que realmente le interesa conocer; por lo que se hace necesario definir una zona de cálculo.

En el Panel Geo, despliegue Zones. Haga clic derecho sobre Computation Zone, y a continuación elija Draw Polygon. Dibuje un polígono sobre la zona que le interesa.

Si el polígono no cumple sus expectativas, puede modificarlo haciendo clic derecho en Computation Zone, y luego eligiendo Edit Zone.

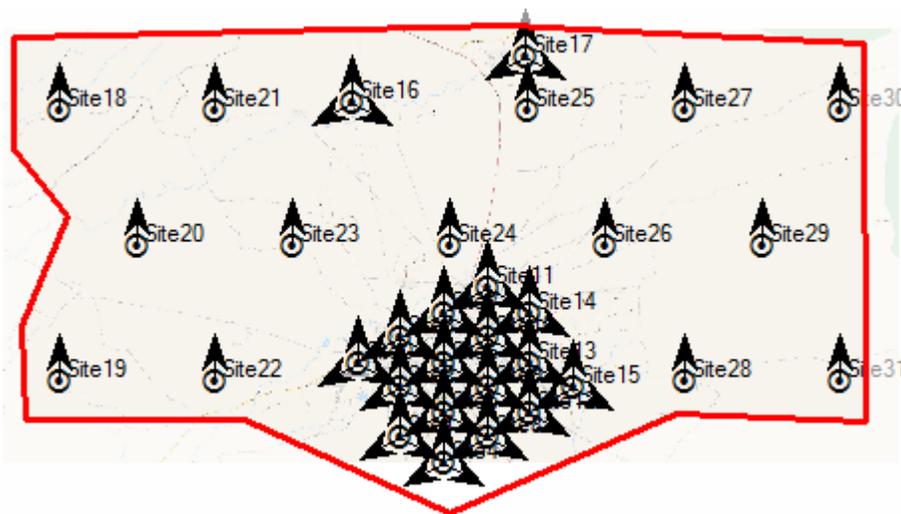


Ilustración 111 - Zona de cálculo para GSM

En el panel Network, haga clic derecho en la carpeta Predictions, y a continuación elija New Prediction.

Genere las siguientes predicciones:

- Cobertura por nivel de señal DL.
- Cobertura por transmisor DL.
- Zonas de solapamiento DL.
- Zonas de interferencia DL.
- Análisis de área de servicio efectivo UL + DL.
- Cobertura por tasa de C/I DL.

Para las predicciones anteriores, genere las respectivas tablas, y analice los resultados.

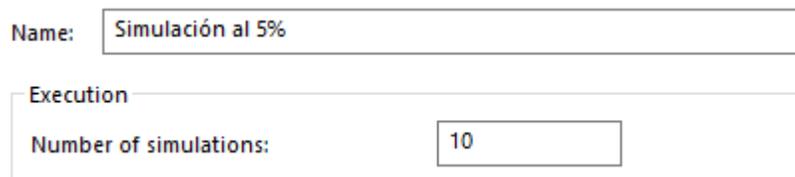
Para ver cada predicción de forma correcta, active sólo la casilla correspondiente a la predicción, en la carpeta Predictions.

Ejercicio 14: Simulación de usuarios.

En este apartado usted deberá generar dos grupos de diez simulaciones cada uno. El primero, con el 5% de carga de tráfico, y el segundo con el 3%, estos porcentajes deben ser ajustados tanto para el enlace de subida (UL) como para el de bajada (DL).

Para generar un grupo de simulaciones, vaya al panel Network, haga clic derecho en la carpeta Simulations y elija New.

En el cuadro de diálogo, en la pestaña General, defina el campo number of simulations a 10.



The image shows a dialog box for creating a simulation group. The 'Name' field is filled with 'Simulación al 5%'. Below it, in the 'Execution' section, the 'Number of simulations' is set to 10.

Ilustración 112 - Creando grupo de diez simulaciones para GSM

En la pestaña Advanced, modifique los valores de tráfico de subida y de bajada como corresponda.



The image shows the 'Advanced' configuration section. Both 'DL traffic load' and 'UL traffic load' are set to 5% using spinners.

Ilustración 113 -Configurando carga de las simulaciones GSM

Finalmente, pulse el botón Calculate.

Vea las propiedades de cada predicción calculada, y haga un análisis.

¿Qué porcentaje de los usuarios usan el enlace DL, UL o ambos?

¿Qué porcentaje de las conexiones son rechazadas?

Actividades para el estudiante

Con lo que hemos configurado hasta el punto anterior, los usuarios no pueden hacer uso de otros servicios (Internet Movil, VoIP), porque para ello los usuarios deben usar equipo más sofisticado, y la compañía debe proporcionar esos servicios usando nuevas tecnologías (GPRS, EDGE), y esto último implica instalar nuevos transmisores y receptores en las estaciones base.

Para la ampliación de esta práctica puede guardar el proyecto en un archivo diferente.

Paso 1:

Use las estaciones base del proyecto, para ubicar nuevos transmisores GPRS y EGPRS. Puede usar los que ya están configurados en la plantilla. Tenga el cuidado de usar Urban en los entornos urbanos y Rural en los entornos rurales.

Paso 2:

Configure los perfiles de usuario para que usen nuevos equipos y consuman los nuevos servicios. La configuración de los perfiles de usuario podría quedar de la manera siguiente:

Para el tipo de usuario Bussines User:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	DL Volume (KBytes)	UL Volume (KBytes)
	Mobile Intern	EGPRS 900 18	0,1		3.000	300
	Multimedia M	GPRS 900 180	0,2		100	10
	Voice	GPRS 900 180	0,4	300		
	VoIP	EGPRS 900 18	3	30		
*						

Ilustración 114 -Configuración del perfil de usuario Bussines User en GSM

Para el tipo de usuario Standard User:

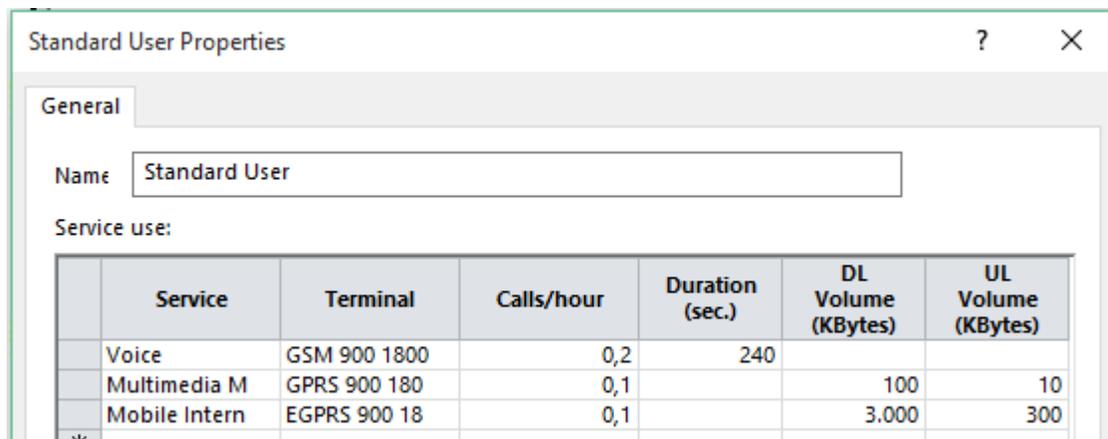


Ilustración 115 - Configuración del perfil de usuario Standard User en GSM

Paso 3:

Haga de nuevo las predicciones.

Práctica de laboratorio 3 – Planificación de una red UMTS

Competencias:

Después de realizada esta práctica el estudiante será capaz de:

- Explicar el proceso de planificación de una red UMTS.
- Conocer los parámetros que influyen en la planificación de una red UMTS.
- Entender conceptos propios de la tecnología UMTS.

Temporización:

El plazo de realización de esta práctica será de dos sesiones de laboratorio.

Bibliografía:

- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 User Manual Radio.
- Antonio Álvarez, 2007, Planificación radioeléctrica con Atoll de una red UMTS para la ciudad de Sevilla.

Requerimientos mínimos:

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz
 - RAM: 1 GB
- Software:
 - Windows XP
 - Atoll 3.3
 - Global Mapper 16.1

Conocimientos Previos

- Conocer las características básicas de Atoll.
- Conocer los conceptos básicos de la tecnología UMTS.

Descripción del escenario de la práctica.

La empresa INTELTON de Nicaragua está interesada en planificar y diseñar una red de comunicación móvil en el departamento de León, esto incluye León, Telica y Quezalguaque, esta vez implementando la tecnología UMTS/HSPA.

Se hará uso de algunas de las características técnicas de la práctica anterior de GSM, tales como los entornos, perfiles de usuario y algunos servicios que brindará la red UMTS.

En esta práctica se utilizarán dos entornos: urbano y sub-urbano, teniendo en cada caso las siguientes velocidades de movilidad del usuario:

Tabla 9 – Velocidades por entorno para UMTS

Entorno	Velocidad máxima
Urbano	10Km/h
Sub-urbano	80Km/h

Se utilizará la micro layer (Max speed, 50 km/h) para la zona urbana y la macro layer (Max speed, 120 km/h) para la zona sub-urbana

En este caso la frecuencia que se va a utilizar será de 1900 MHz y 5 MHz de ancho de canal.

Objetivos de calidad de cobertura: Se requiere un nivel de señal mínimo de -90 dbm en el área urbana y -110 dbm en la zona sub-urbana.

Se considera una densidad de 1600 usuarios por kilómetro cuadrado en el área urbana y 500 usuarios por kilómetro cuadrado en el entorno sub-urbano.

Para modelar el tráfico que genera la ciudad de León, se definirán dos tipos de usuarios: Usuario comercial (Business User) y usuario normal (Standard User). A cada uno de estos se le asignarán una serie de servicios UMTS con ciertos parámetros de tráfico que el usuario genera de cada servicio.

La empresa ofrece servicios de Voz, MMS, Acceso a Internet y Video conferencia.

Objetivos de calidad por servicios:

Tabla 10 – Objetivos de calidad por servicio UMTS

Servicio	Probabilidad de Rechazo
Voz	2 %
MMS	5%
Acceso a Internet	10%
Video Conferencia	2%

Se hará uso del modelo de propagación Cost-Hata.

Ejercicio 0: Importación de Mapas

Se debe crear un nuevo documento para implementar la tecnología UMTS. Para ello vaya a File y seleccione New, en el cuadro de plantillas de proyectos, seleccione UMTS HSPA.

A continuación se deben de importar los mapas de altimetría (terrain_map.bil) y Street (street_map.bil) que se utilizaron en la práctica de GSM, los cuales están ubicados en: soluciones>>Práctica 3 - UMTS-HSDPA.

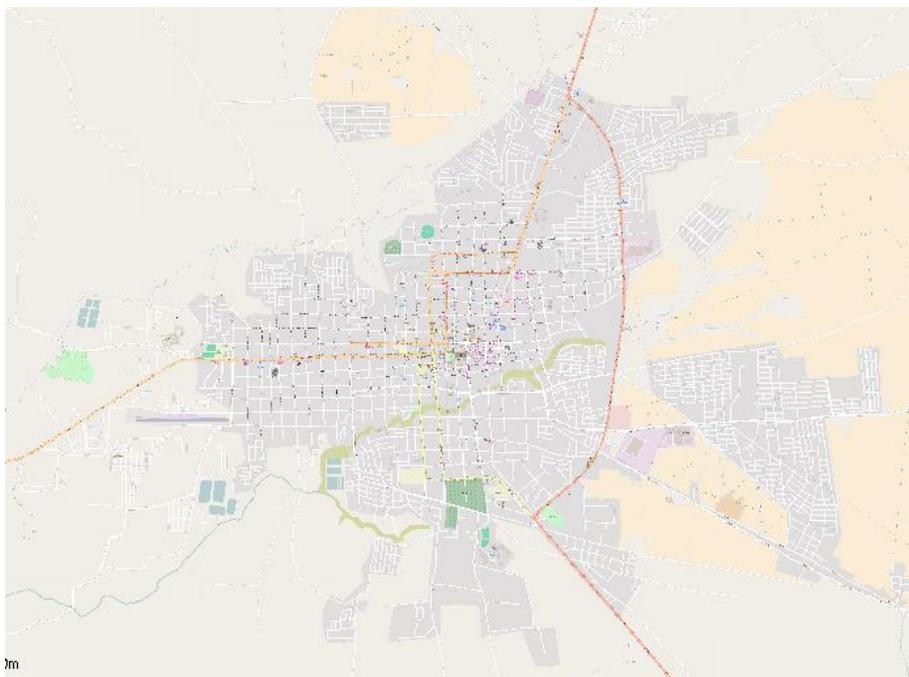


Ilustración 116 - Mapa de carreteras para escenario UMTS

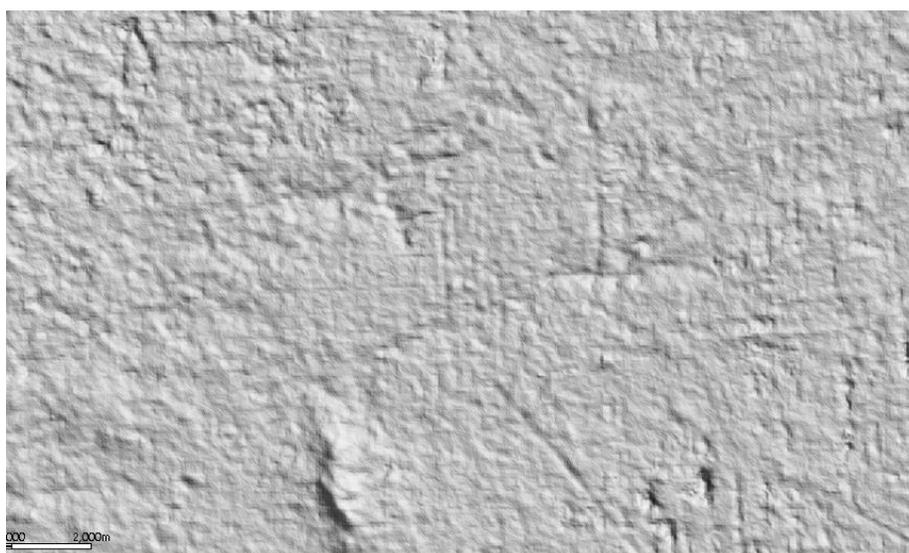


Ilustración 117 - Mapa de altimetrías para escenario UMTS

Ejercicio 1: Primer diseño hexagonal:

Se pretende parametrizar un número a priori desconocido de estaciones base para proporcionar cobertura a una determinada región, en este caso trabajaremos con la zona urbana y la zona sub-urbana de la ciudad de León.

- 1) Colocaremos las estaciones base de manera regular por todo el terreno, con una configuración estándar.
- 2) Calcularemos la cobertura y otros parámetros de la red.
- 3) Rediseñaremos la red de manera acorde a los resultados de esos cálculos. Repetiremos los pasos 2 y 3 hasta obtener los resultados deseados. En este apartado comentaremos como se realizan los cálculos del paso 2, que parámetros de las estaciones bases determinan la cobertura y que otros efectos influyen en el diseño de un sistema de comunicaciones móviles.

Primer despliegue hexagonal con una única portadora y con un radio de celda de 600 m para la zona urbana y de 1,200 m para la zona suburbana.

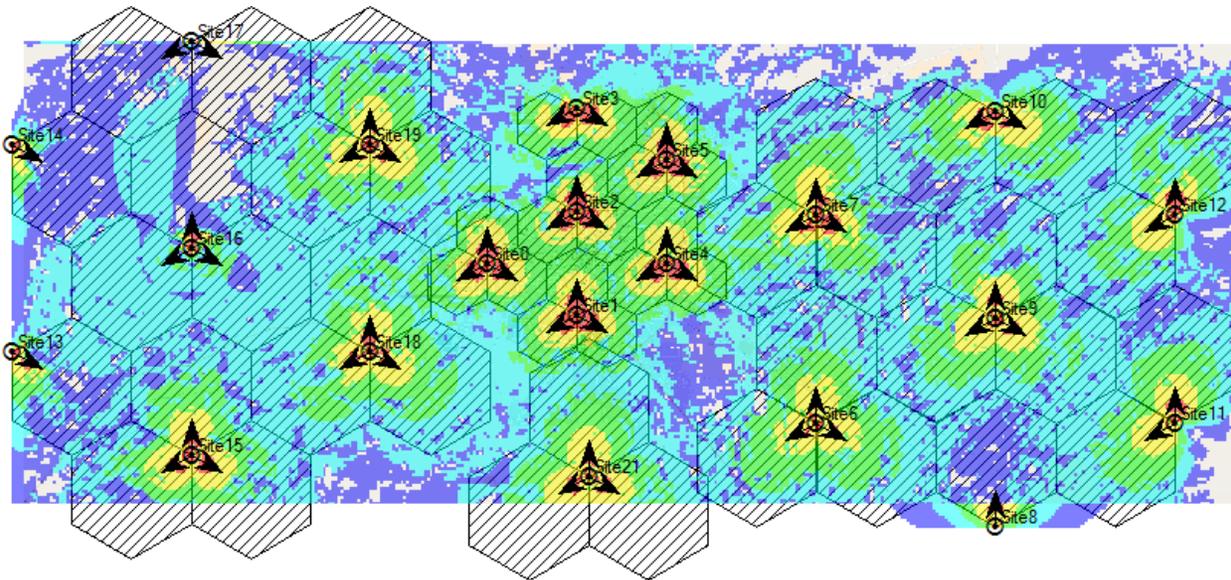


Ilustración 118 - Primer diseño hexagonal para escenario UMTS

El resultado de esta primera predicción refleja que se garantiza un nivel mínimo de señal de cobertura de -120 dbm para toda la región, tanto para la zona urbana como la suburbana, por lo tanto este diseño no cumple con los objetivos de calidad establecidos para este proyecto.

A continuación se procederá al rediseño de la red. Para ello configuraremos los parámetros necesarios para alcanzar los objetivos de calidad.

Ejercicio 2: Configuración de Frecuencias:

Luego de haber realizado el paso 1 y 2 se obtuvo como resultado en la zona urbana un bajo nivel de señal de cobertura de -100 dbm para la zona urbana y -110 dbm para la zona sub-

urbana. Para elevar el nivel de señal es necesario reducir la banda de frecuencia a UTRA Band II tanto en la zona urbana como sub-urbana.

Para ello vaya al panel “Parameters”, seleccione “Radio Network Settings” y de clic en el menú desplegable, ahora seleccione “Station Templates” y de clic derecho primeramente en “Urban (3 sectors)”, seleccione propiedades y a continuación le aparecerá un cuadro de diálogo. Donde dice “Frequency band” Seleccione UTRA Band II

Posteriormente seleccione “Sub-urban (3 sectors)” y cambie el campo Frequency band a UTRA Band II como en el caso de “Urban (3 sectors)”.

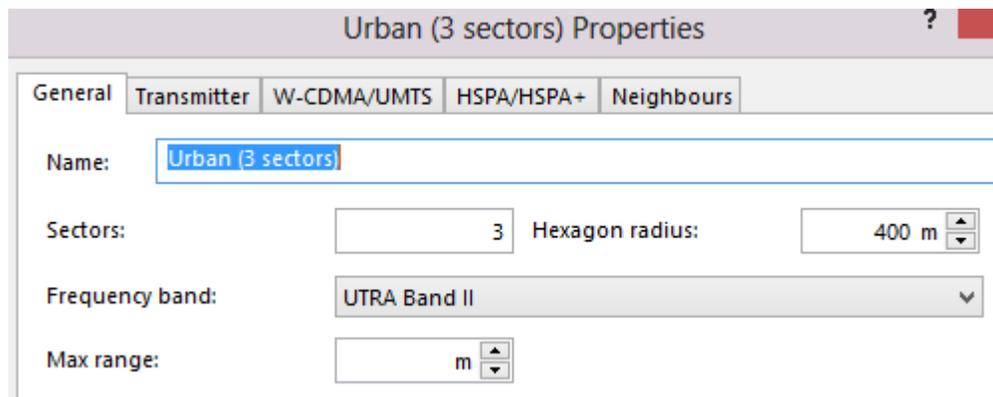


Ilustración 119 - Configuración de la banda de frecuencias para la plantilla Urban (3 sectors)

Ejercicio 3: Configuración de los servicios UMTS.

Se trabajará con los siguientes valores para cada uno de estos servicios, puesto que son valores típicos para planificación de UMTS en ciudades. Estos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 - Configuración de servicios en UMTS

Nombre del servicio	Voz	MMS	Acceso a Internet	Video Conferencia
Portadora radio R99	LCD12	UDD64	UDD384	LCD64
Tipo de servicio	Modo circuito	Modo paquete	Modo paquete	Modo circuito
Soft handoff allowed	Si	No	No	Si
Prioridad	2	0	0	1
Factor de actividad en el UL	0,4	0,75	0,75	1
Factor de actividad en el DL	0,4	0,75	0,75	1
Tasa de transferencia media en el UL	12,2 kbps	64 kbps	64 kbps	64 kbps
Tasa de transferencia media en el DL	12,2 kbps	64 kbps	384 kbps	64 kbps
Perdidas por el cuerpo	3 dB	0 dB	0 dB	0 dB

Para configurarlos vaya al panel "Traffic Parameters", luego elija "Services", se desplegarán todos los servicios disponibles de Atoll para UMTS, seleccione los que se utilizarán para esta práctica y configúrelos con los valores de la tabla anterior.

Nota: Se utilizarán las características por defecto de Atoll para los terminales móviles, el tipo de dispositivo con que se trabajará en este caso es el Mobile Terminal.

Ejercicio 4: Configuración de perfiles de Usuario:

Se empleará los dos tipos de perfiles de usuario que trae Atoll por defecto: Standard User y Bussines User.

A continuación, se procederá a configurar los parámetros de cada uno de los perfiles de usuario.

Standard User:

Tabla 12 - Configuración del perfil de usuario Standard User en UMTS

Servicio	Tipo de terminal	Llamadas por hora	Duración de la llamada (seg)	Volumen de datos en el UL (kbytes)	Volumen de datos en el DL (Kbytes)
Voz	Teléfono móvil	0,25	275	-	-
MMS	Teléfono móvil	0,1	-	200	200
Acceso a Internet	Teléfono móvil	0,1	-	300	7.000
Video Conferencia	Teléfono móvil	0,005	150	-	-

Bussines User:

Tabla 13 - Configuración del perfil de usuario Bussines User en UMTS

Servicio	Tipo de terminal	Llamadas por hora	Duración de la llamada (seg)	Volumen de datos en el UL (kbytes)	Volumen de datos en el DL (kbytes)
Voz	Teléfono móvil	0,5	350	-	-
MMS	Teléfono móvil	0,1	-	200	200
Acceso a Internet	Teléfono móvil	0,25	-	500	10.000
Video Conferencia	Teléfono móvil	0,1	200	-	-

Para ello debe ir al panel “Traffic Parameters”, luego seleccione “User Profiles”, le saldrán los dos tipos de perfiles de usuarios que Atoll trae por defecto. A continuación configúrelos con los valores anteriores.

Ejercicio 5: Configuración de tipos de movilidad:

Se agregará dos nuevos tipos de movilidades de usuarios, uno para cada entorno. Para la zona urbana se utilizará una movilidad de 10 km/h y para la zona suburbana una movilidad de 80 km/h.

Para esto vaya al mismo panel “Traffic Parameters” y de clic derecho sobre “Mobility Types y seleccione New. A continuación, agregue los dos nuevos tipos de movilidad definidos anteriormente.

Ejercicio 6: Configuración de entornos:

El siguiente paso para modelar el tráfico generado por la ciudad es la configuración de los “entornos”, a cada uno de los cuales le asignaremos una densidad demográfica de usuarios, con su movilidad asociada.

En este caso se hará uso de dos de los entornos que Atoll trae por defecto, Urban y Suburban ubicados en “Environments” del mismo panel anterior “Traffic Parameters”.

El siguiente paso es configurar los parámetros de cada uno de los entornos. Se utilizarán los siguientes valores para cada uno de ellos.

Tabla 14 - Configuración de entornos para escenario UMTS

Tipo de Entorno	Perfil de Usuario	Movilidad	Densidad (Abonado por km ²)
Urban	Business User	10 km/h	600
	Standard User	10 km/h	1000
Suburban	Business User	80 km/h	150
	Standard User	80 km/h	350

Para configurarlos de clic sobre cada tipo de entornos y agregue los valores de la tabla anterior.

Ejercicio 7: Configuración de plantilla de estación base:

Se usará la configuración de las plantillas de estación base que Atoll trae por defecto para la zona urbana y para la zona suburbana a excepción del tamaño del radio de las celdas en la zona urbana el cual se debe reducir a un valor de 400 m para hacer las celdas más pequeñas y que exista una mayor cobertura de la señal.

Para ello vaya al panel “Parameters”, seleccione “Radio Network Settings” y de clic en el menú desplegable, ahora seleccione “Station Templates” y de clic derecho en “Urban (3 sectors)”,

seleccione propiedades y a continuación le aparecerá un cuadro de diálogo. Donde dice “Hexagon radius” escriba 400 m.

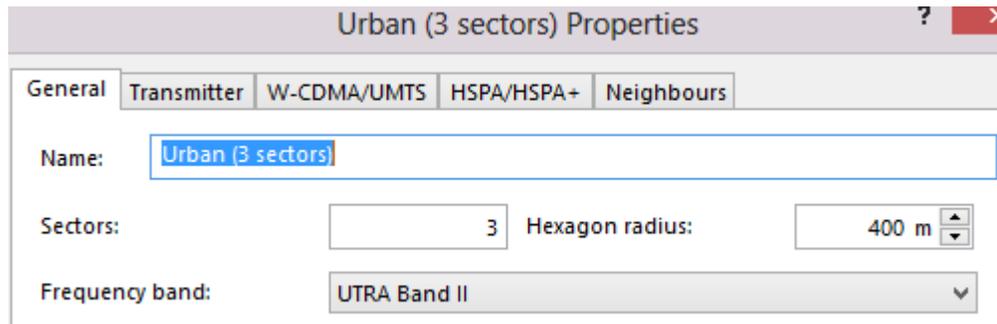


Ilustración 120 - Configuración de radio hexagonal para la plantilla Urban (3 sectors) UMTS

Ejercicio 8: Modelo de propagación:

Se utilizará el modelo de propagación Cost-Hata, puesto que este modelo es una variación de la fórmula de Hata para sistemas que funcionen en 1.800 MHz y 2.000 MHz. En este caso se está trabajando con una frecuencia de 1900 MHz, por lo tanto es el modelo más adecuado para utilizar.

Diríjase al panel “Parameters”, seleccione “Radio Network Settings”, ahora elija “Station Templates”. Se desplegarán las plantillas que trae por defecto Atoll para UMTS.

En este caso se están utilizando las plantillas Suburban (3 sectors) y Urban (3 sectors). De doble clic sobre cada una y en el cuadro de propiedades de la plantilla, en el campo Main propagation model, seleccione Cost-Hata.

Ejercicio 9: Configuración de antenas:

Se trabajará con los modelos de antena que Atoll trae por defecto.

Para la zona urbana se usará el modelo de antena 2100MHz 65deg 18dBi 4Tilt y para la zona Suburbana se usará el modelo 2100MHz 65deg 18dBi 2Tilt.

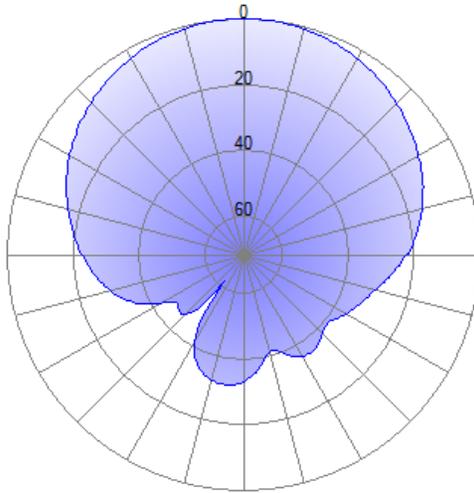


Ilustración 121 - Patrón de radiación horizontal de la antena 2100MHz 65deg 18dBi 2Tilt

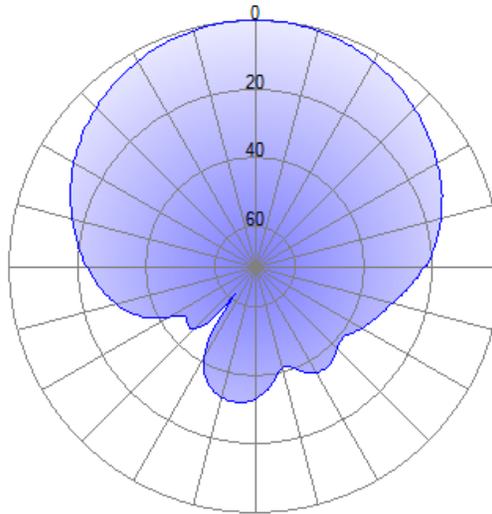


Ilustración 122 - Patrón de radiación vertical de la antena 2100MHz 65deg 18dBi 2Tilt

Antena para la zona urbana.

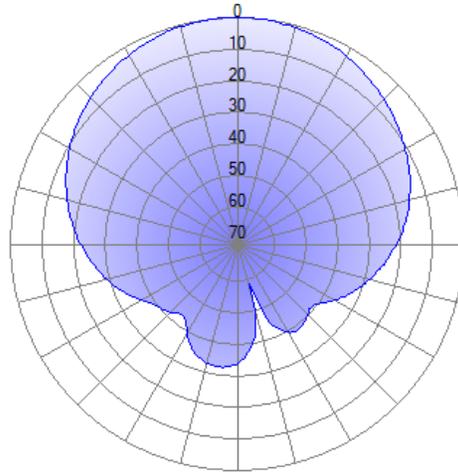


Ilustración 123 - Patrón de radiación horizontal de la antena 2100MHz 65deg 18dBi 4Tilt

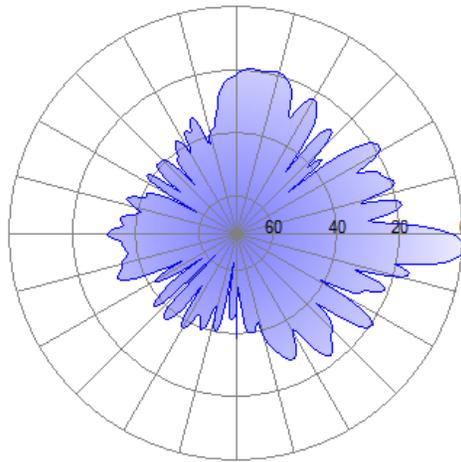


Ilustración 124 - Patrón de radiación vertical de la antena 2100MHz 65deg 18dBi 4Tilt

Ejercicio 10: Planificación del despliegue.

Una vez tenemos modelado el tráfico de la ciudad de León podemos empezar a ubicar los emplazamientos y a realizar simulaciones hasta alcanzar ciertos objetivos de calidad tales como:

Para la zona urbana una cobertura de señal mínima de -90 dbm y para la zona suburbana -110 dbm.

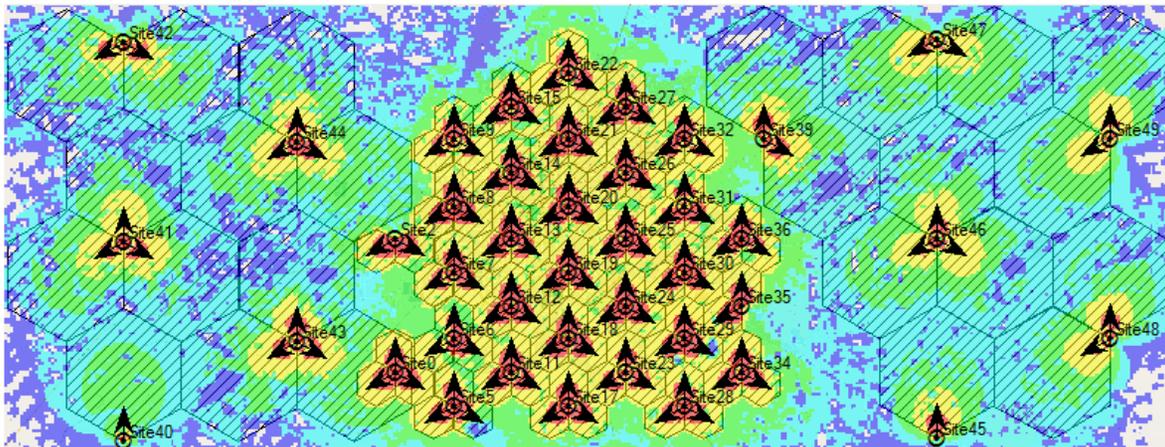


Ilustración 125 - Planificación de despliegue de la red UMTS

Nota: En la zona urbana se está garantizando -90 db y en la zona sub-urbana se está garantizando -110 db.

Ejercicio 11: Configuración de mapas de tráfico:

Antes de realizar las simulaciones es necesario definir cada una de las zonas en las que hemos dividido el mapa (zona urbana y suburbana) y asociarla con cada tipo de entorno, para ello se deben crear mapas de tráfico.

Vaya al panel “Geo”, de clic derecho sobre “Traffic Maps” y seleccione New Map. En el cuadro de diálogo que le aparece asegúrese de que esté habilitado el ítem User profile traffic map y seleccionada la opción User profile environments.

A continuación de clic en Create y le aparecerá otro cuadro de diálogo el que cada color de la lista desplegable, se corresponde con cada uno de los entornos, debe ir sombreando el espacio de cobertura asociado con cada entorno, hasta crear cada uno de los mapas de tráfico.

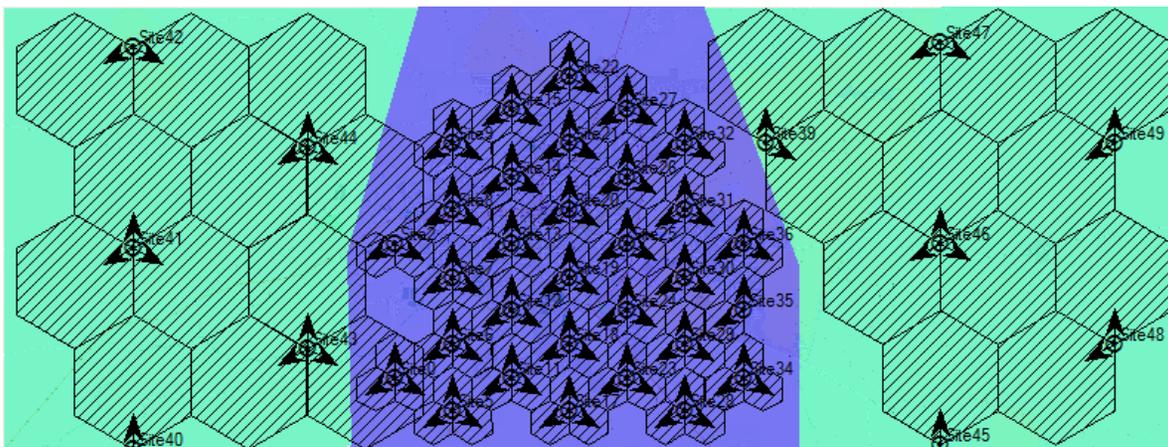


Ilustración 126 - Despliegue hexagonal UMTS de una portadora

Una vez creados los mapas se procederá a realizar las simulaciones, pero antes se debe completar la tabla de los equipos de recepción en la que se debe añadir y asociar los tipos de movilidades que se han creado anteriormente (10 km/h y 80 km/h) con los servicios que se han configurado.

Para ello, vaya al panel parameters y seleccione Traffic Parameters >> services”, vaya a las propiedades de cada servicio, vaya a la pestaña UMTS y fíjese que valor posee el campo “R99 radio bearer”.

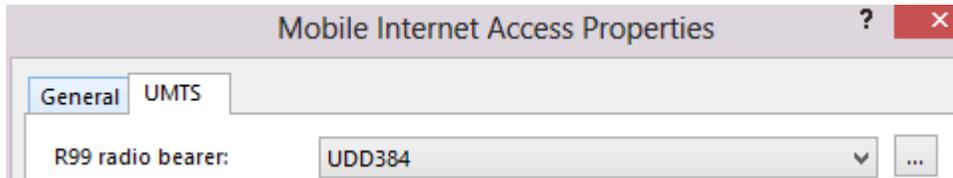


Ilustración 127 - R99 radio bearer para el servicio Mobile Internet Access en UMTS

Ahora vaya a Parameters >> Radio Network Settings >> Reception Equipment >> Standard y vea las propiedades. Vaya a la pestaña “R99 Bearer Selection”, ahora asocie cada tipo de movilidad creado con cada uno de los valores que posee el campo “R99 radio bearer” en cada servicio. En este caso se está trabajando con 80 km/h y con 10 km/h. Para mayor facilidad copie las filas con los valores de movilidad que más se aproximen a la movilidad con la que usted esté trabajando y el respectivo valor del campo “R99 Bearer Selection” y agréguelas al final de la tabla, luego solo cambie el valor de la movilidad por la correcta.

R99 Radio Bearer	Mobility	DL Target (dB)	Downlink Open Loop Diversity Gain (dB)	Downlink Closed Loop Diversity Gain (dB)	UL Target (dB)	Uplink 2RX Diversity Gain (dB)	Uplink 4RX Diversity Gain (dB)
UDD128	90 km/h	8	0	0	5	0	0
UDD128	Pedestrian	6	0	0	3	0	0
UDD384	50 km/h	7	0	0	3	0	0
UDD384	90 km/h	7	0	0	3	0	0
UDD384	Pedestrian	6	0	0	3	0	0
UDD64	50 km/h	7	0	0	4	0	0
UDD64	90 km/h	8	0	0	5	0	0
UDD64	Pedestrian	6	0	0	3	0	0
LCD12	80 km/h	7	0	0	4	0	0
UDD64	80 km/h	8	0	0	5	0	0
UDD384	80 km/h	7	0	0	3	0	0
LCD64	80 km/h	7	0	0	4	0	0
UDD384	10 km/h	6	0	0	3	0	0
UDD64	10 km/h	6	0	0	3	0	0
LCD64	10 km/h	6	0	0	3	0	0
LCD12	10 km/h	9	0	0	5	0	0

Ilustración 128 - Asociando movilidad a R99 radio bearer en UMTS

De esta manera ya no tendremos problemas al realizar las simulaciones, pues ya estarán asociados los tipos de movilidades de los terminales con los servicios que hemos configurado.

Las simulaciones UMTS en Atoll están basadas en un simulador Monte Carlo. En UMTS cada estación móvil recibe interferencia de estaciones base de células diferentes a la suya, pero no de otros móviles, y toda interferencia de los móviles de su célula y de otras células, pero no de las demás estaciones base. La capacidad en UMTS depende de la interferencia total recibida. Atoll simula el mecanismo de control de potencia mediante un algoritmo iterativo, en cada iteración, todos los móviles de la población de usuarios generada tratan de ser conectados, uno por uno, a la red. Si determinados usuarios penalizan demasiado a los demás móviles, son rechazados, estando la decisión de rechazo correlacionada con la prioridad del servicio.

Para los servicios de Voz y Video Conferencia se ha establecido como objetivo de calidad un 2% de probabilidad de rechazo, un 5 % para el servicio MMS porque tiene una prioridad menor que la de los servicios que funcionan en modo circuito (se considera que es menos crítico) y no es un servicio tan sensible al retardo. El servicio acceso a Internet es el de menor prioridad y el que más penaliza a los demás servicios, es previsible por tanto que sea el más susceptible de ser rechazado por la red y es posible que nos resulte difícil obtener valores elevados de disponibilidad.

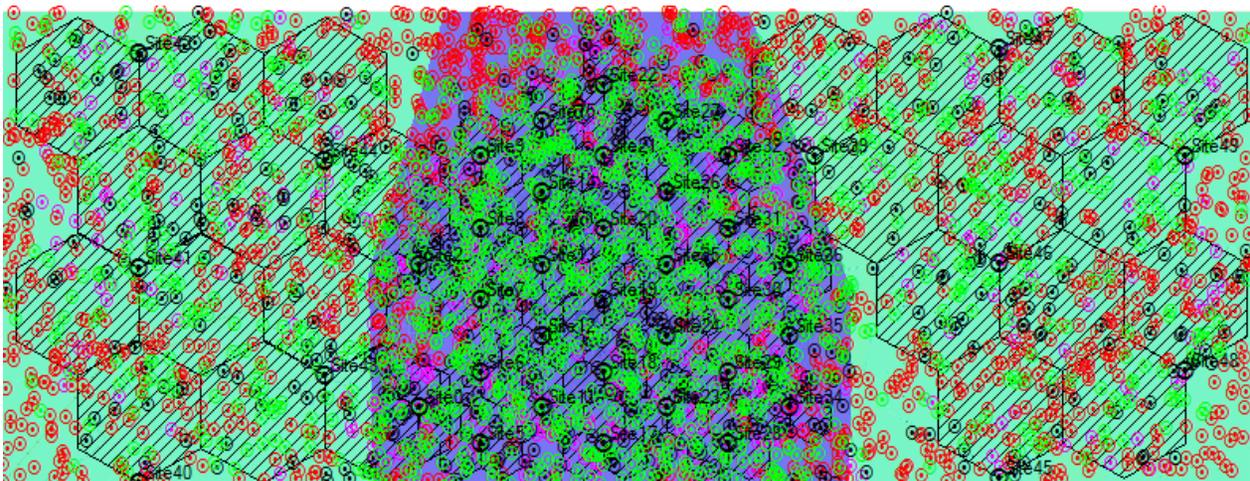


Ilustración 129 - Simulación de usuarios en escenario UMTS

Gráficamente se puede observar la posición de todos los terminales que en el momento de la simulación están intentando acceder a un servicio y el estado en que se encuentran. El color rojo indica los usuarios conectados y el negro los que están siendo rechazados.

Para ver los resultados estadísticos de la simulación, vaya a Network>> Simulations, de clic derecho sobre Group 0 y seleccione Average Simulation.

Resultados:

Total number of rejected users: 1,810 (44.3%)		
Pmob > PmobMax:		85
Ptch > PtchMax:	100	
Ec/Io < (Ec/Io)min:	1,137	
UL Load Saturation:		0
Ch. Elts saturation:		67
DL Load Saturation:		421
OVSF Code Saturation:	0	
Admission Rejection:		0
HSDPA Scheduler Saturation:		0
HSUPA Scheduler Saturation:		0
Iub Throughputs Saturation:		0
HSDPA Resource Saturation:		0
HSUPA Admission Rejection:		0

Ilustración 130 - Estadísticas de simulación de usuarios UMTS

Se observa que el número total de usuarios rechazados son 1,810 que representan el 44.3 %, es decir aproximadamente la mitad de los usuarios.

Tabla 15 - Tabla de resultados desglosada por servicios, de la simulación UMTS

Servicio	Demand a	Resultados Conectado s	Porcentaje conectado s	Porcentaje Rechazado s
Voz	2,630	1900	72.2 %	27.7 %
Acceso a Internet Móvil	1,116	217	19.4 %	80.5 %
Servicio de Mensajería Multimedia	206	71	34.5 %	65.5 %
Video Conferencia	132	86	65.2 %	34.8 %

Estos resultados no cumplen con los objetivos de calidad antes establecidos puesto que se puede observar que los servicios más penalizados son los de menor prioridad (MMS y acceso a Internet) y en concreto el más penalizado es el de acceso a Internet, que es el que más interferencia genera. Al ser el servicio que requiere la tasa de transferencia más alta, es el que más tráfico demanda y por tanto el que más canales de tráfico requiere y el que más potencia de célula necesita.

En principio, la forma más fácil de aumentar el número de canales de tráfico es añadiendo nuevas portadoras.

Actividades para el estudiante:

Actividad 1

Añada una portadora más a todas las celdas de la red, para comprobar si con ese tamaño de célula se pueden cumplir los objetivos de calidad, realice nuevamente el despliegue hexagonal y la simulación.

Para aumentar el número de portadoras a las celdas vaya a Parameters >> Radio Network Settings >> Station Templates, ahora seleccione las plantillas de estación base con las que estamos trabajando, Suburban (3 sectors) y Urban (3 sectors), de clic derecho, seleccione

propiedades, vaya a la pestaña transmitter y en el campo No. of ports seleccione 2 para transmisión y 2 para recepción.

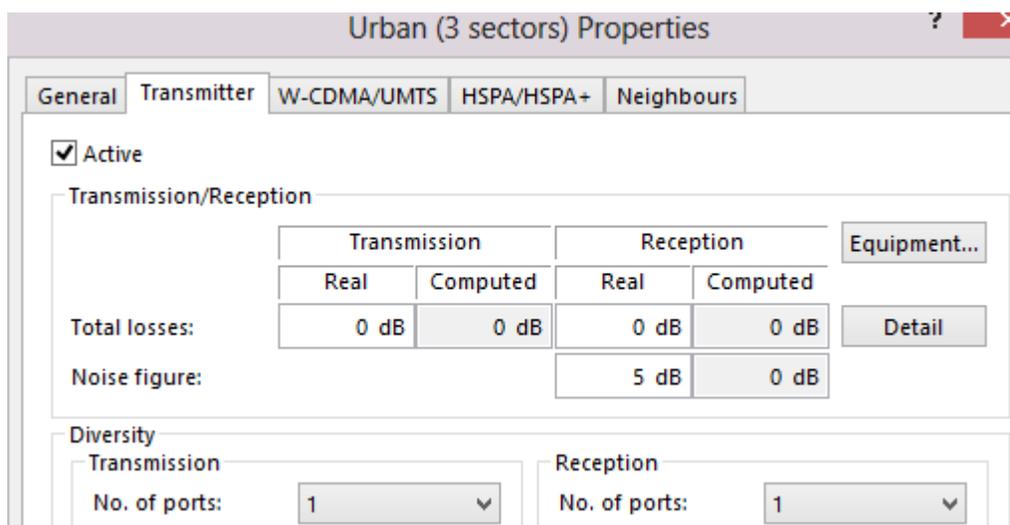


Ilustración 131 - Configuración de número de puertos UMTS

Realice el despliegue y realice nuevamente la simulación. Observe los resultados y compruebe si se cumplen o se aproximan a los objetivos de calidad fijados.

Luego disminuya el tamaño del radio de todas las celdas de la red, realice nuevamente el despliegue hexagonal, luego haga la simulación, vea los resultados y analice si cumplen los objetivos de calidad o al menos se aproxima.

Repita este procedimiento hasta lograr aproximarse lo más posible a los objetivos de calidad o bien hasta lograr alcanzarlos.

Estudios de cobertura:

En este apartado se realizará algunos estudios de cobertura sobre la red desplegada. El objetivo de estos estudios es documentar gráficamente la red y verificar que el diseño es el adecuado.

Los estudios de cobertura proporcionan información sobre el estado de la red en todas las localizaciones de la zona objetivo.

Realice:

- Estudio de cobertura por nivel de señal
- Estudio de cobertura por transmisor.
- Estudio de la relación señal/interferencia.

Actividad 2

Mejore la práctica implementando HSPA. Para ello, debe crear un nuevo documento de Atoll, y hacer un despliegue similar al de la Actividad 1; pero ahora utilizando las plantillas de estaciones base HSDPA correspondientes en cada caso (HSDPA Urban, HSDPA Suburban)

Haga un análisis efectivo del área de servicio (La predicción que tiene por nombre: Effective Service Area Analysis (Eb/Nt DL+UL)) tanto para la actividad 1 como para la actividad 2. Luego compare los resultados.

Práctica de laboratorio 4 – Planificación de una red LTE

Competencias:

Después de realizada esta práctica el estudiante será capaz de:

- Explicar el proceso de planificación de una red LTE.
- Conocer los parámetros que influyen en la planificación de una red LTE.
- Entender conceptos propios de la tecnología LTE.
- Utilizar mapas de uso de terreno (Clutter classes).
- Explicar el impacto de reutilización de frecuencias y estrategias ICIC.
- Explicar el impacto de MIMO.
- Utilizar histogramas para explicar los resultados obtenidos.
- Utilizar Google Earth Para la visualización predicciones

Temporización:

El plazo de realización de esta práctica será de dos sesiones de laboratorio.

Bibliografía:

- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 User Manual Radio.
- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 Exercise Book
- Eduardo López, 2012, Análisis de las estrategias de gestión del espectro radioeléctrico en un sistema LTE con la herramienta Atoll.

Requerimientos mínimos

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz
 - RAM: 1 GB
- Software:
 - Windows XP
 - Atoll 3.3
 - Global Mapper 16.1
 - Google Earth

Conocimientos Previos

- Conocer las características básicas de Atoll.
- Conocer los conceptos básicos de la tecnología LTE.

Consideraciones preliminares

Al planificar una red LTE, se tienen disposiciones propias de la tecnología que no se tenían en tecnologías anteriores, tales como utilizar OFDM como política de acceso para optimizar el uso del espectro radioeléctrico y aprovechar las capacidades MIMO para aumentar la capacidad de transferencia de datos. No obstante, también se debe tener cuidado en las implicaciones que ello tiene.

OFDM nos permite dividir un canal de frecuencias en subcanales más delgados, pudiendo asignar uno o varios de esos canales a cada conexión de un terminal y una estación base (eNode B), da tal forma que podríamos asignar el mismo rango de frecuencias entre celdas adyacentes (FFR1). Esta técnica reduce en gran proporción la interferencia entre dispositivos, pero aumenta la proporción de interferencia intercelular; para solucionarlo, utilizamos una técnica de control de interferencia intercelular (ICIC).

Descripción del escenario de la práctica.

En la presente práctica se hará una propuesta de despliegue de una red para la ciudad de Managua, con la configuración básica de Atoll. Luego se harán algunas modificaciones en los parámetros, a fin de observar el comportamiento de la red en cuanto a cobertura, servicios provistos a los usuarios e interferencia intercelular.

Se desea implementar una red celular en la ciudad de Managua. Las características técnicas de esta red serán las siguientes:

- ✓ LTE soporta dos tipos de duplexación: Por división de frecuencias, y por división de tiempo. En esta práctica se utilizará FDD.
- ✓ Se utilizará la banda de frecuencias E-UTRA BAND I, la cual trabaja con un rango de frecuencias de 2100MHz en el enlace de bajada, y de 1900MHz en el enlace de subida, con un ancho de canal de 15MHz.
- ✓ Se requiere un nivel de señal mínimo de -100dbm en, al menos el 90% del área de cobertura.
- ✓ Como objetivo de calidad, se requiere un nivel de usuarios rechazados inferior al 5%.
- ✓ La red ofrece servicios de Internet de alta velocidad, videoconferencia y VoIP, a dos tipos de usuarios: Usuario comercial (Bussines User) y usuario normal (Standard User).
- ✓ Se utilizará el modelo de propagación Cost-Hata en general, con fórmulas de propagación de ondas según el uso del terreno en cuestión.
- ✓ En cuanto a los parámetros aquí no especificados, se utilizarán los que Atoll tiene por defecto para la plantilla LTE.

Ejercicio 0: Creación del escenario de la práctica.

Cree un nuevo documento de Atoll partiendo de la plantilla LTE, y cargue un mapa de altimetría y un mapa de carreteras de la ciudad de Managua. Puede usar el que se encuentra en la carpeta Materiales/Practica 4 - LTE.

Observación: Atoll difiere de Global Mapper en cuanto a la ubicación de las coordenadas del mapa. Para trabajar con el mapa ubicado en la dirección que corresponde, haga lo siguiente:

1) Ajuste las propiedades del documento de Atoll para que esté ubicado en la zona NAD Panama, y cargue un mapa en línea. (Siga los pasos de la práctica 1).

El mapa en línea puede ser OpenStreetMap Standard Map.

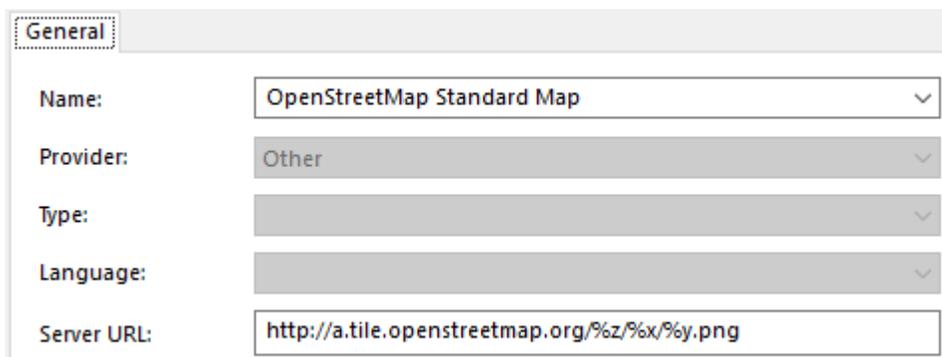


Ilustración 132 - Configuración por defecto de mapa en línea OpenStreetMap

2) Modifique las coordenadas de los mapas cargados, de manera que coincidan con el mapa en línea.

Para modificar las coordenadas del mapa Street cargado, haga clic derecho en el nombre del mapa, en el Explorador de información geográfica (Geo Explorer), y luego elija Propiedades.

En la pestaña Geocoding, puede modificar las coordenadas del mapa.

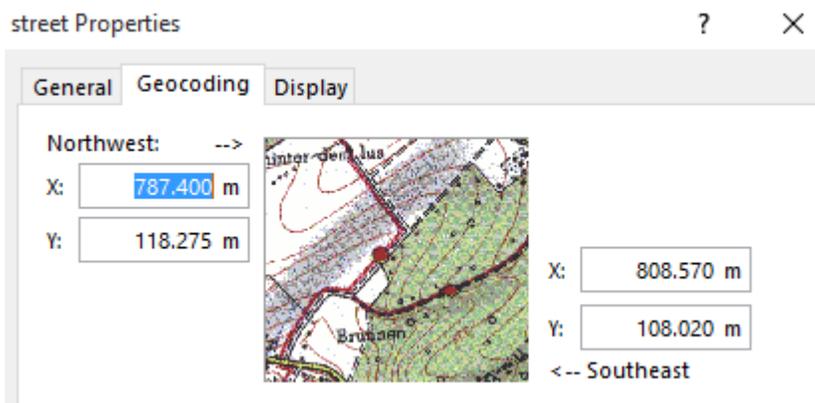


Ilustración 133 - Configuración de las coordenadas del mapa de carreteras

Para modificar las coordenadas del mapa de altimetría, despliegue la carpeta Digital Terrain Model, luego elija las propiedades del mapa cargado.

De igual manera encontrará la pestaña Geocoding, que le permitirá cambiar las coordenadas del mapa.

Ejercicio 1: Añadiendo un mapa de uso de terreno

Además del mapa de altimetrías, Atoll toma en consideración ciertos parámetros del uso de terreno, como la altura y la interferencia que pueden ocasionar los objetos que ocupen determinado espacio de suelo. Estos objetos podrían ser edificios, zonas forestales, lagos, etc.

En esta práctica se definirán siete usos de terreno:

Tabla 16 - Usos de terreno para LTE

Código	Uso	Altura
1	Zona abierta	0m
2	Forestal	5m
3	Agua (Lagos y ríos)	0m
4	Residenciales	3m
5	Zona industrial	5m
6	Edificios	20m
7	Zona urbana densa	0m

Para configurar estos parámetros, vaya al panel Geo Explorer, y vea las propiedades de la opción Clutter Classes.

En la pestaña Description, podrá agregar cada una de las clases, sus respectivas alturas sobre el suelo, y el color con el que se mostrarán en el mapa.

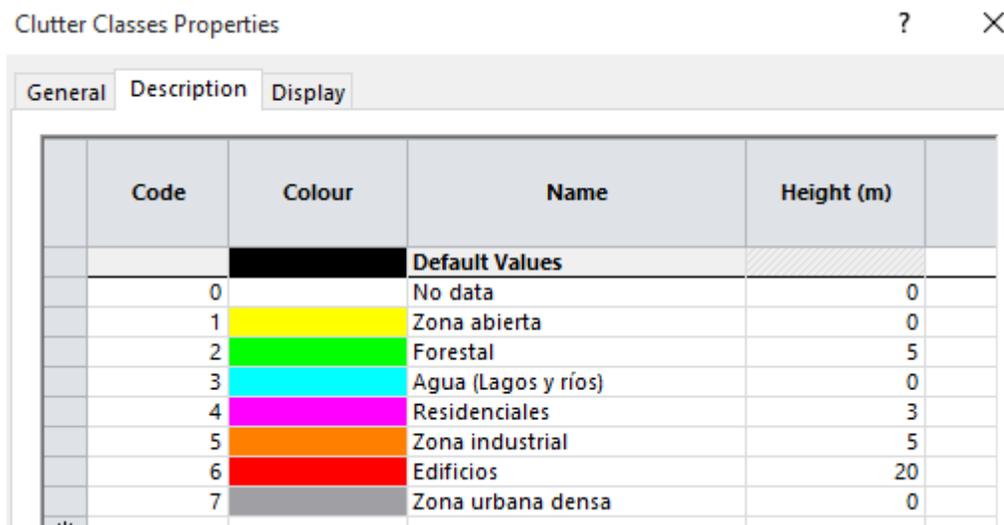


Ilustración 134 – Alturas y código de color por uso de terreno LTE

A continuación, proceda a dibujar un mapa de uso de terreno de la ciudad. (Clic derecho >> Edit, sobre la opción Clutter Classes del Panel Geo Explorer).

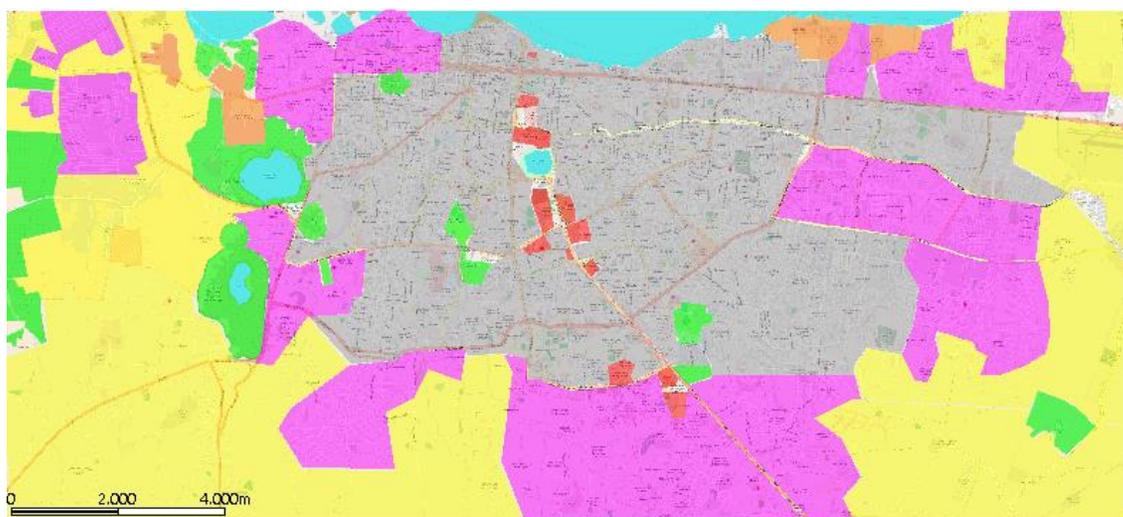


Ilustración 135 - Mapa de usos de terreno para escenario LTE

Ejercicio 2: Modelo de propagación según uso de terreno

Según el tipo de uso del terreno, el modelo de propagación que elija, utilizará distintas fórmulas para calcular la pérdida de la señal de acuerdo con las descripciones propias de cada clase clutter. En esta práctica se utilizarán las siguientes fórmulas.

Formulas assigned to clutter classes	
Default formula	Medium sized city & suburban
0 - No data	0 - Default formula
1 - Zona abierta	4 - Rural (open area)
2 - Forestal	3 - Rural (quasi-open)
3 - Agua (Lagos y ríos)	4 - Rural (open area)
4 - Residenciales	2 - Medium sized city & suburban
5 - Zona industrial	1 - Metropolitan center
6 - Edificios	1 - Metropolitan center
7 - Zona urbana densa	1 - Metropolitan center

Ilustración 136 - Fórmula de propagación según usos de terreno LTE

Para asignar estas fórmulas al modelo de propagación, vaya al panel Parameters, luego elija Propagation Models >> Cost-Hata.

Ejercicio 3: Configuración de plantillas.

Antes de hacer el despliegue de la red, es necesario asegurarse de que cada estación tendrá los parámetros que necesitamos en el escenario.

Configure dos nuevas plantillas para las estaciones base. Puede hacer una copia de las plantillas 10MHz - FDD - Urban (3 sectores) y 10MHz - FDD - Suburban (3 sectores), y luego modificarlas.

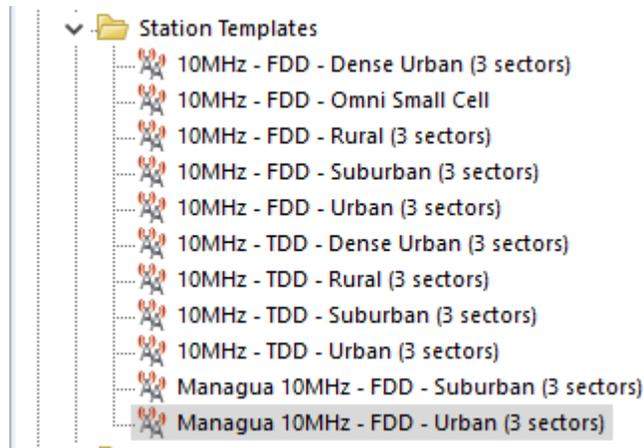


Ilustración 137 - Copia de plantilla 10MHz FDD Urban y Suburban para escenario LTE

Configuración de la plantilla Suburban

Propiedades generales

Hexagon Radius: 1500m

Height/Ground: 30m

Propiedades de LTE

Potencia máxima (Max Power): 40dbm

Frequency Band: E-UTRA Band I – 15MHz

Sheduler: Round Robin

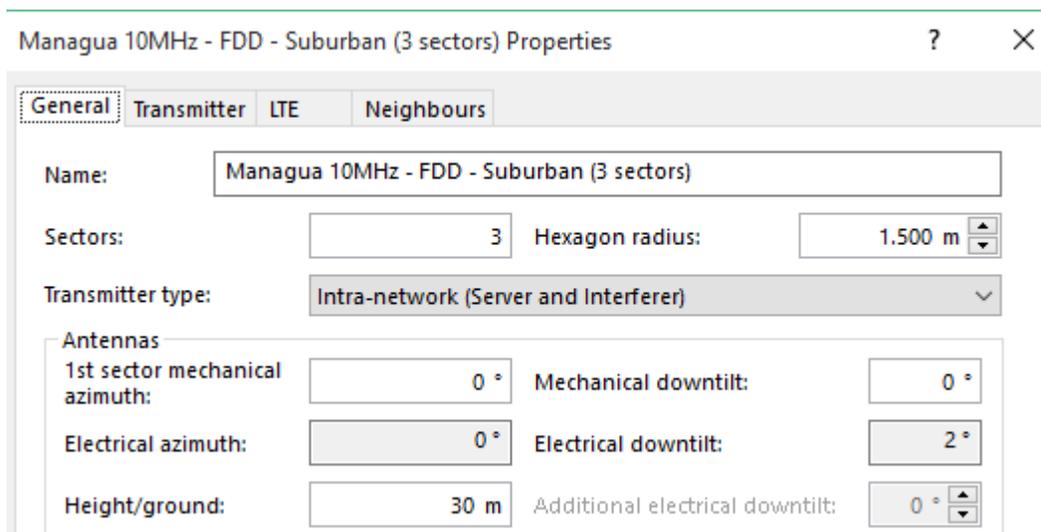


Ilustración 138 - Configuración de la plantilla Suburban para escenario LTE

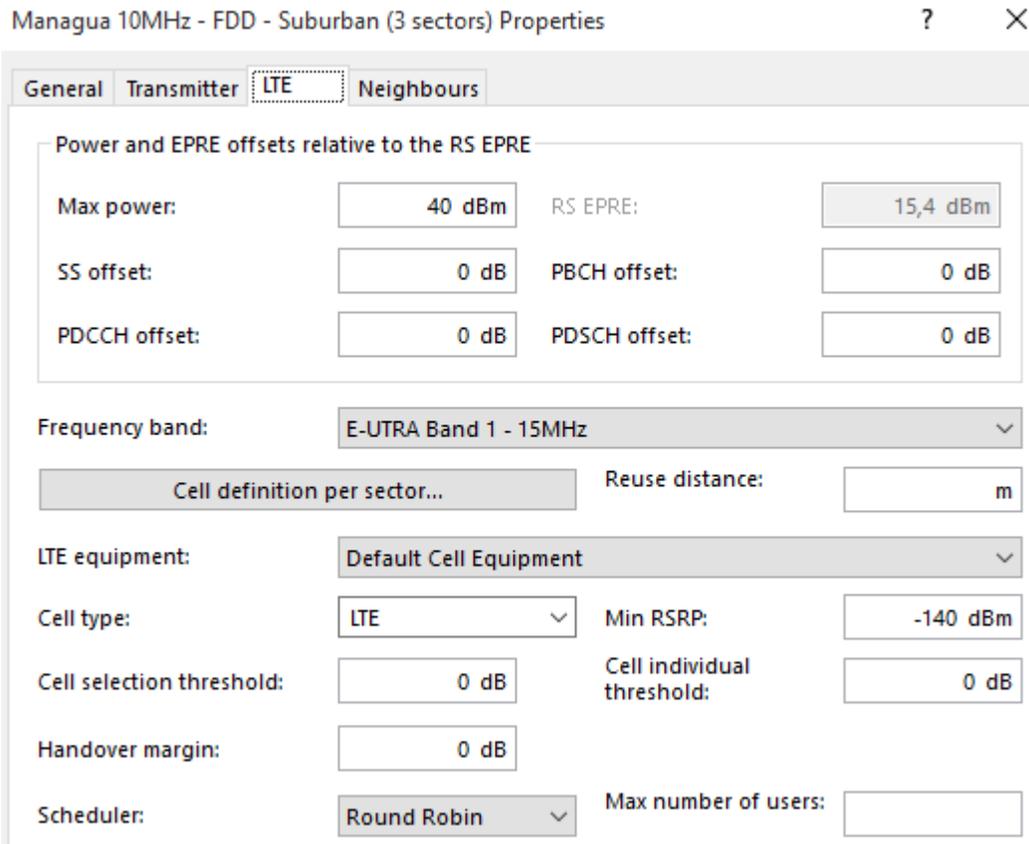


Ilustración 139 - Configuración de parámetros LTE para la plantilla Suburban (3 sectors)

Configuración de la plantilla Urban

Propiedades generales

Hexagon Radius: 600m

Height/Ground: 30m

Propiedades de LTE

Potencia máxima (Max Power): 40dbm

Frequency Band: E-UTRA Band I – 15MHz

Sheduler: Round Robin

Managua 10MHz - FDD - Urban (3 sectors) Properties

General Transmitter LTE Neighbours

Name: Managua 10MHz - FDD - Urban (3 sectors)

Sectors: 3 Hexagon radius: 600 m

Transmitter type: Intra-network (Server and Interferer)

Antennas

1st sector mechanical azimuth: 0 ° Mechanical downtilt: 0 °

Electrical azimuth: 0 ° Electrical downtilt: 4 °

Height/ground: 30 m Additional electrical downtilt: 0 °

Ilustración 140 - Configuración de la plantilla Urban para escenario LTE

Managua 10MHz - FDD - Urban (3 sectors) Properties

General Transmitter LTE Neighbours

Power and EPRE offsets relative to the RS EPRE

Max power: 40 dBm RS EPRE: 10,7 dBm

SS offset: 0 dB PBCH offset: 0 dB

PDCCH offset: 0 dB PDSCH offset: 0 dB

Frequency band: E-UTRA Band 1 - 15MHz

Cell definition per sector... Reuse distance: m

LTE equipment: Default Cell Equipment

Cell type: LTE Min RSRP: -140 dBm

Cell selection threshold: 0 dB Cell individual threshold: 0 dB

Handover margin: 0 dB

Scheduler: Round Robin Max number of users:

Ilustración 141 - Configuración de parámetros LTE para la plantilla Urban (3 sectores)

Nota: Para ambos casos utilizaremos el modelo de propagación Cost-Hata, que es el que ya tenemos configurado según los tipos de uso del terreno.

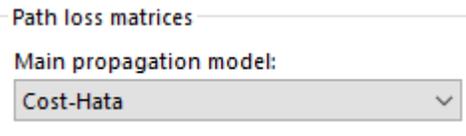


Ilustración 142 - Selección de modelo de propagación para escenario LTE

Ejercicio 4: Creando un plan automático de estaciones base.

Observación: Se utilizará la configuración por defecto de Atoll en lo que refiere a servicios, usuarios, terminales y tipos de movilidad.

A continuación, se hará un despliegue hexagonal utilizando las plantillas de área urbana y suburbana que ya tenemos configuradas.

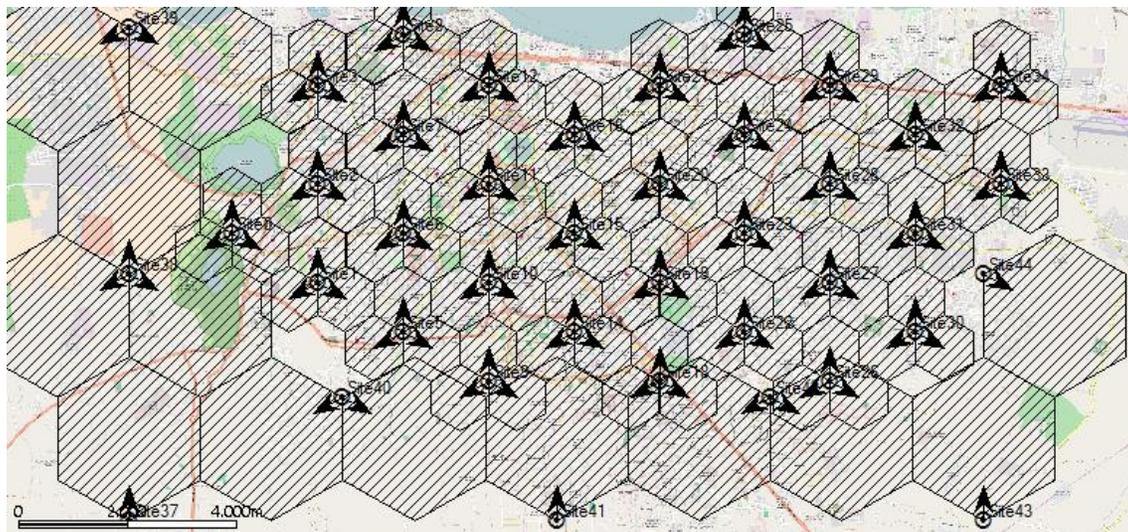


Ilustración 143 - Despliegue hexagonal LTE en Managua

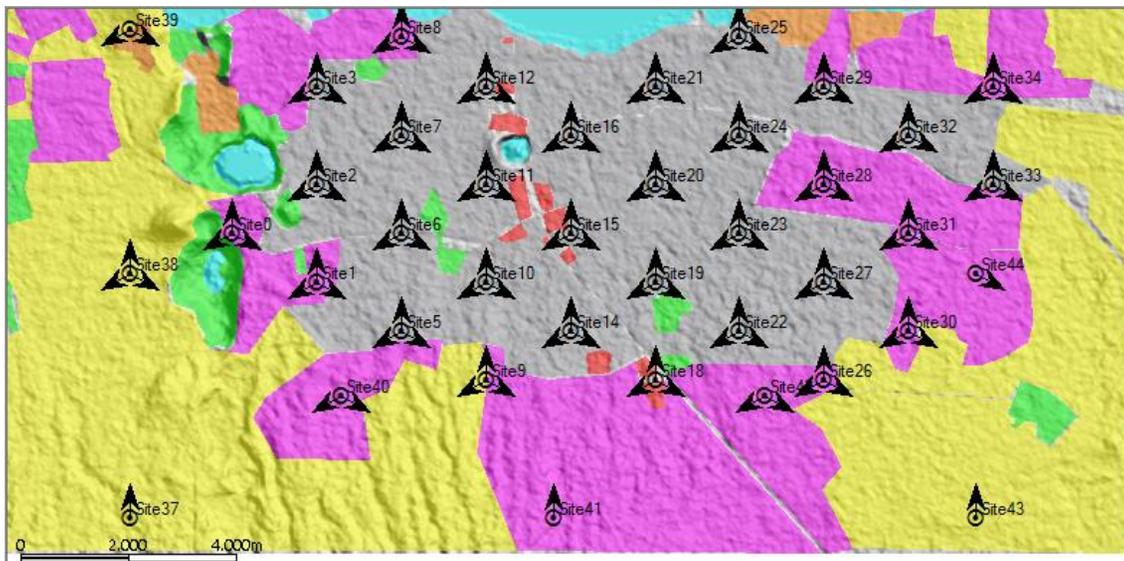


Ilustración 144 - Vista de emplazamientos LTE Managua

Ejercicio 5: Predicciones

Nota, antes de realizar las predicciones, dibuje una zona de cálculo que abarque el área para la cual desea hacer la predicción.

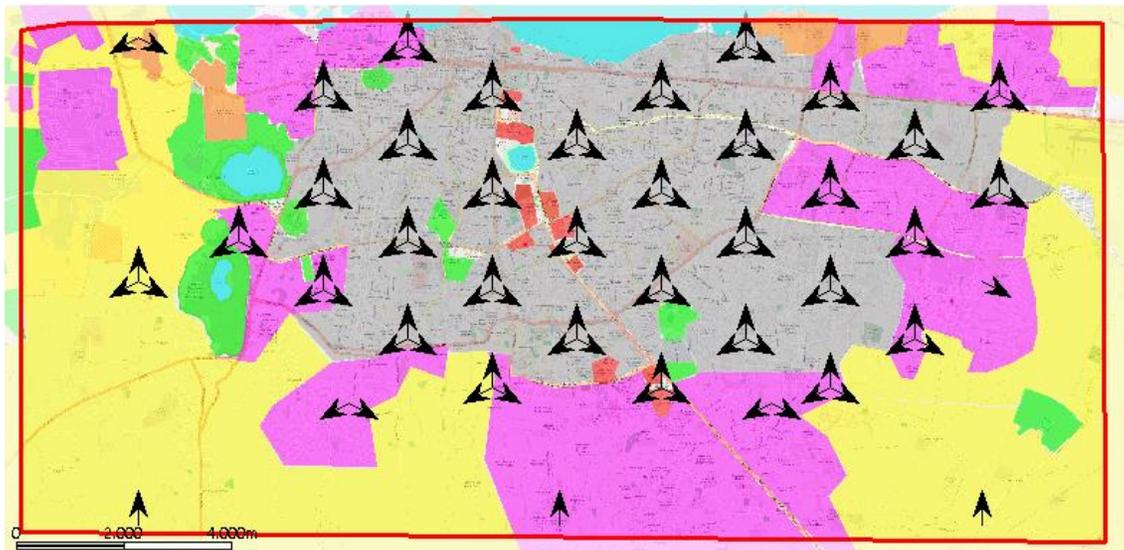


Ilustración 145 - Zona de cálculo para escenario LTE

Predicción 1: Cobertura por nivel de señal.

Este estudio ayudará a determinar el nivel de señal de referencia en cada punto del mapa. En las condiciones de esta predicción, elija el canal E-UTRA Band 1, antes de hacer el cálculo.

Channel:

Best (E-UTRA Band 1 - 15MHz)

Ilustración 146 - Selección de banda para predicción por nivel de señal LTE

Calcule la predicción.

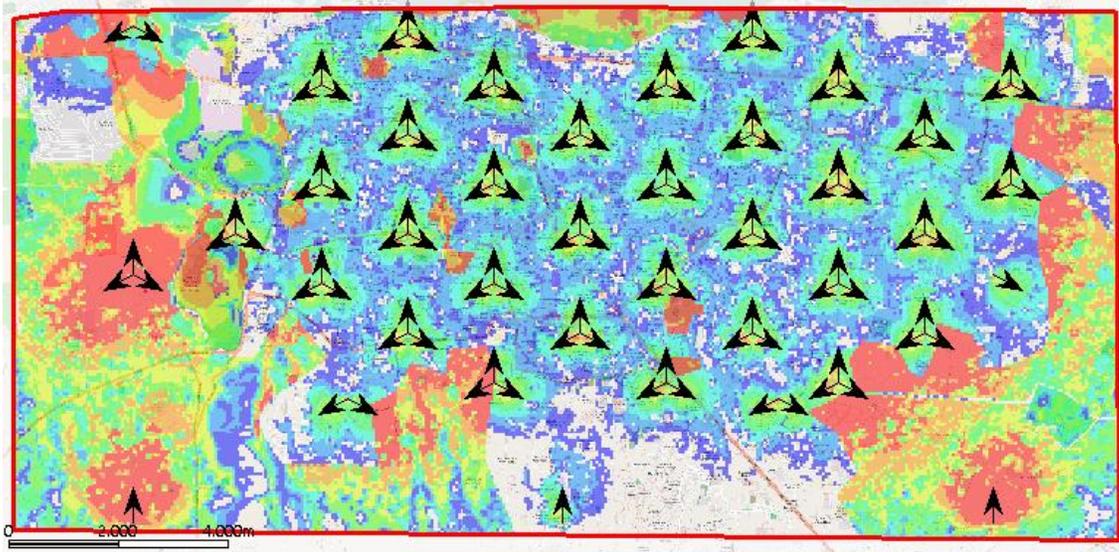


Ilustración 147 - Predicción de cobertura por nivel de señal LTE

De acuerdo con el histograma, se puede observar que la cobertura es mejor en las zonas que señalamos como zonas abiertas en el mapa clutter. ¿A qué cree que se debe ese resultado?

Genere un histograma de la predicción. (Clic derecho >> Histogram sobre la predicción generada).

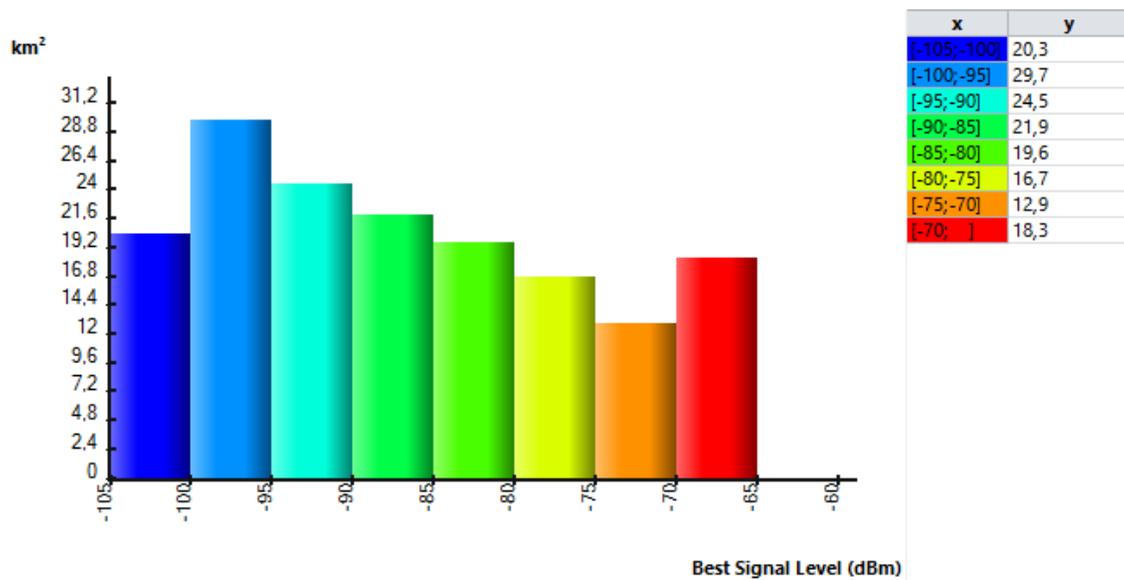


Ilustración 148 - Histograma de predicción por nivel de señal LTE

Explique, de acuerdo con su histograma, si se cumplen los objetivos de cobertura previstos al inicio de este documento.

Predicción 2: Cobertura por transmisor.

Antes de generar esta predicción, a fin de ver los resultados de una forma entendible, es necesario que cada transmisor tenga un color diferente. Para ello, vaya al panel Network, y luego elija las propiedades de la carpeta Transmitters. En la pestaña Display, ajuste el campo Display Type a Automatic.

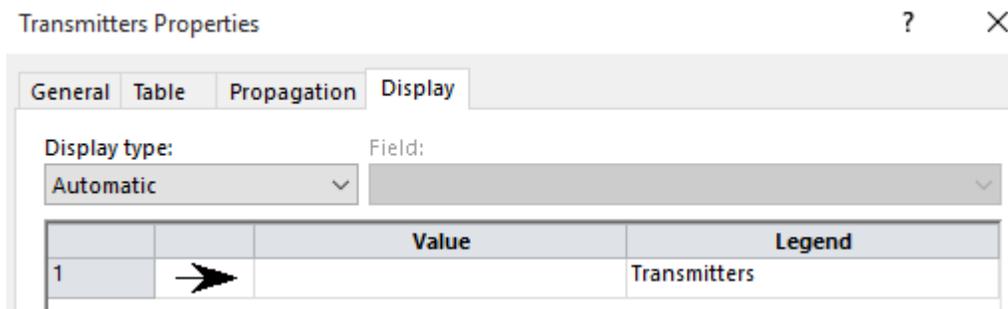


Ilustración 149 - Edición de propiedades de transmisores LTE

Genere una predicción por transmisor con los parámetros por defecto de Atoll, a excepción del canal, el cual debe estar en E-UTRA Band 1. El margen de 4dB indica la condición de margen, es decir, las zonas donde la diferencia de señal entre un transmisor y otro, es menor o igual a 4dB.

Las zonas de margen son importantes porque es donde potencialmente se tendrá interferencia intercelular.

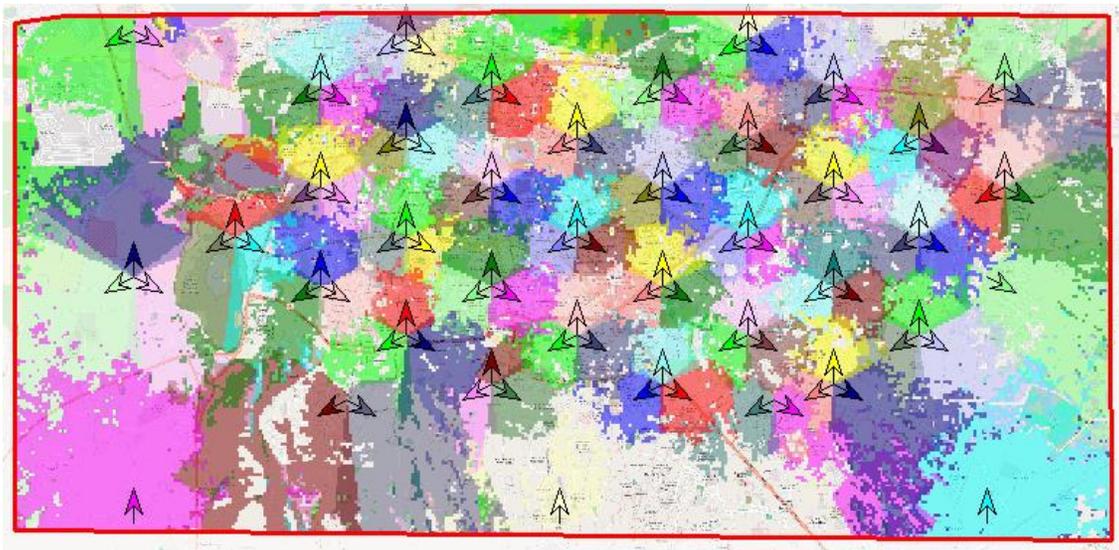


Ilustración 150 - Predicción de cobertura por transmisor LTE

Predicción 3: Zonas de solapamiento.

Las zonas de solapamiento nos indican los puntos en donde se recibe una misma potencia de

señal de referencia, y es por lo tanto necesario aplicar técnicas de control de interferencias.

Genere una predicción por las zonas de solapamiento del escenario.

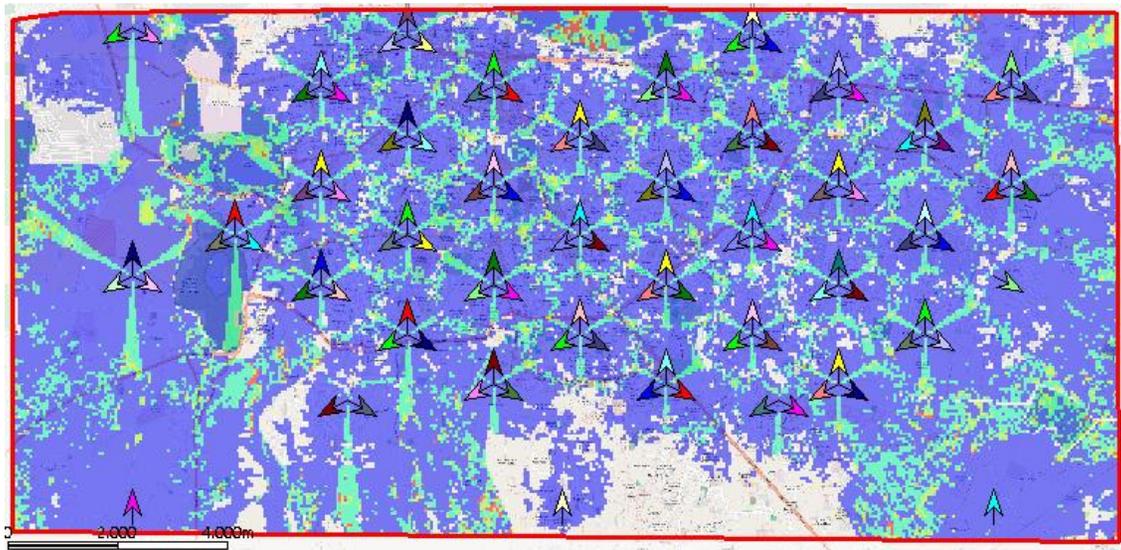


Ilustración 151 - Predicción de zonas de solapamiento LTE

Genere el histograma de la predicción y visualice los porcentajes, y explique en qué consiste cada resultado.

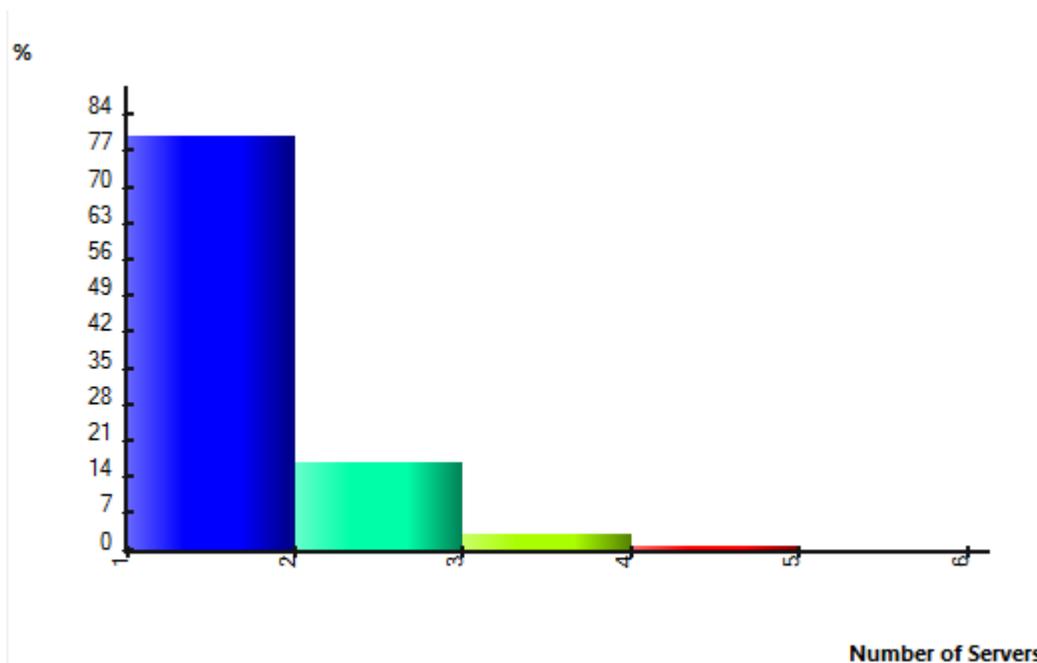


Ilustración 152 - Histograma de zonas de solapamiento LTE

Los tres estudios de señal anteriores trabajan con señales de referencia, de manera que no tienen ninguna relación con la movilidad, equipos y servicios que consuman los usuarios. Para

tener estos datos más específicos, es necesario realizar un estudio desde cada punto del mapa. Afortunadamente, Atoll ya tiene un tipo de estudio de esta modalidad, y es llamado Análisis efectivo de la señal.

Predicción 4: Análisis efectivo de la señal en el enlace descendente.

Realice un análisis efectivo de la señal utilizando los siguientes parámetros.

Terminal:	Mobility:
MIMO Terminal	50 km/h
Service:	
High Speed Internet	

Ilustración 153 - Parámetros para predicción de análisis efectivo de la señal LTE

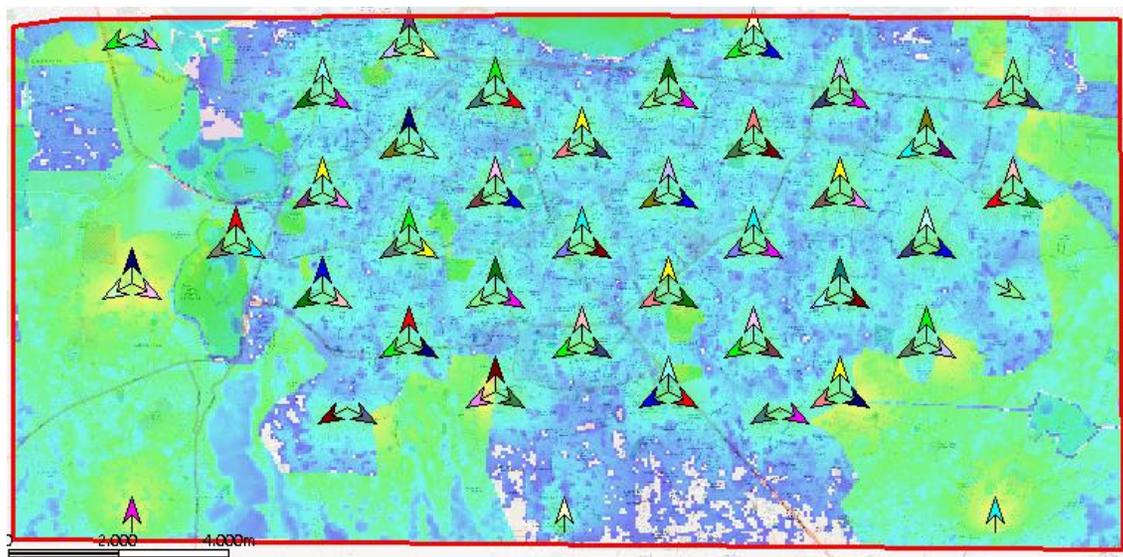


Ilustración 154 - Análisis efectivo de la señal en el enlace descendente LTE

Predicción 5: Análisis efectivo de la señal en el enlace ascendente.

Utilizando la misma configuración que la predicción anterior, haga un análisis efectivo de la señal para el enlace ascendente.

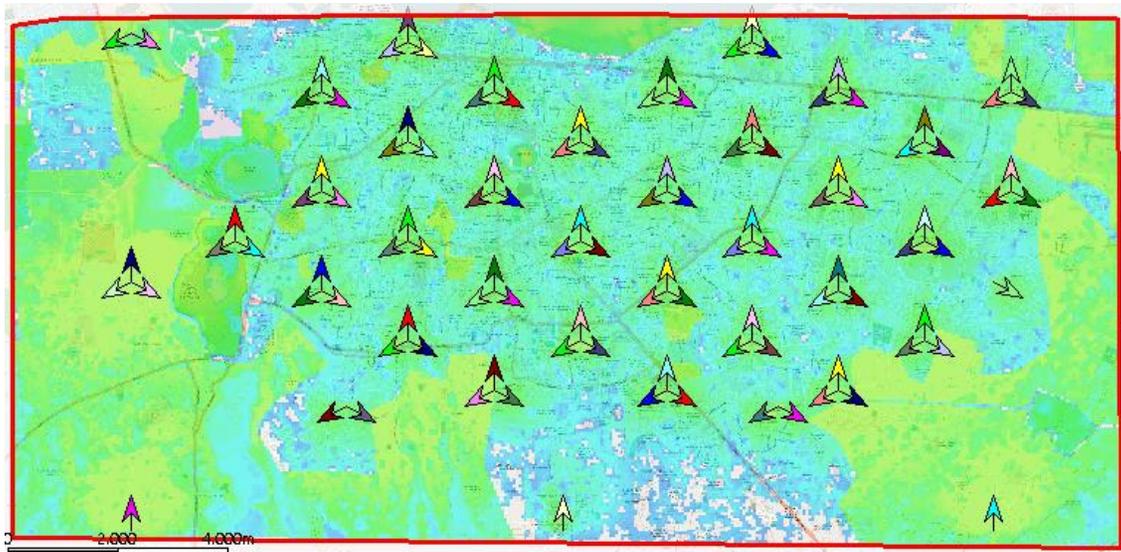


Ilustración 155 - Análisis efectivo de la señal en el enlace ascendente LTE

Predicción 6 y 7: Calidad de la señal.

El ruido es importante en las predicciones, ya que ayuda a saber qué impacto tendrá la interferencia de la señal con el tráfico de usuarios y los servicios que se les quiere proveer.

Este tipo de estudio se realiza calculando la relación C/I+N en cada enlace.

Realice una predicción del tipo Coverage by C/I+N level tanto para el enlace ascendente como descendente.

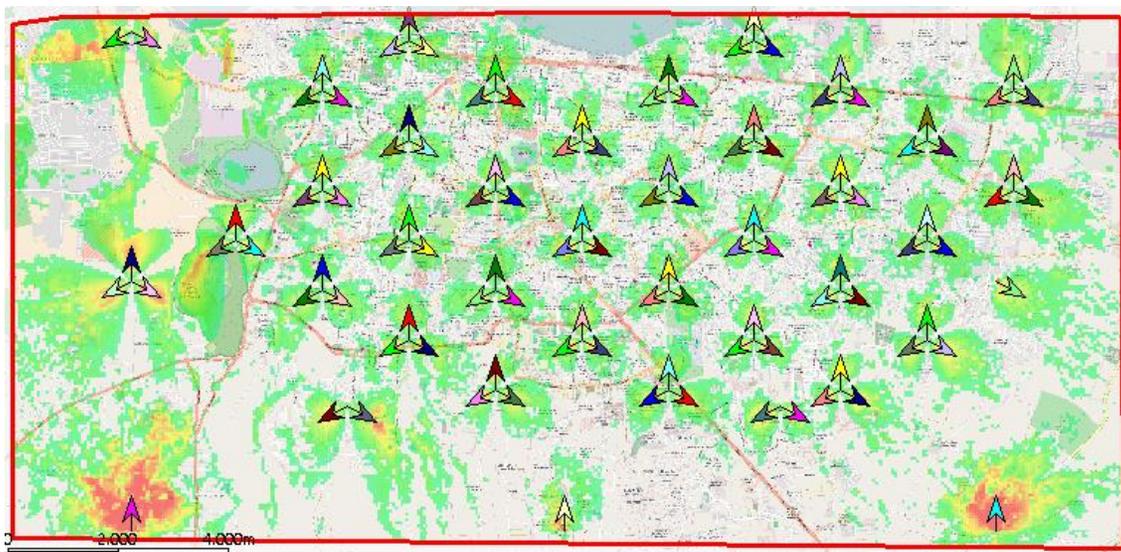


Ilustración 156 - Calidad de la señal en el enlace descendente LTE

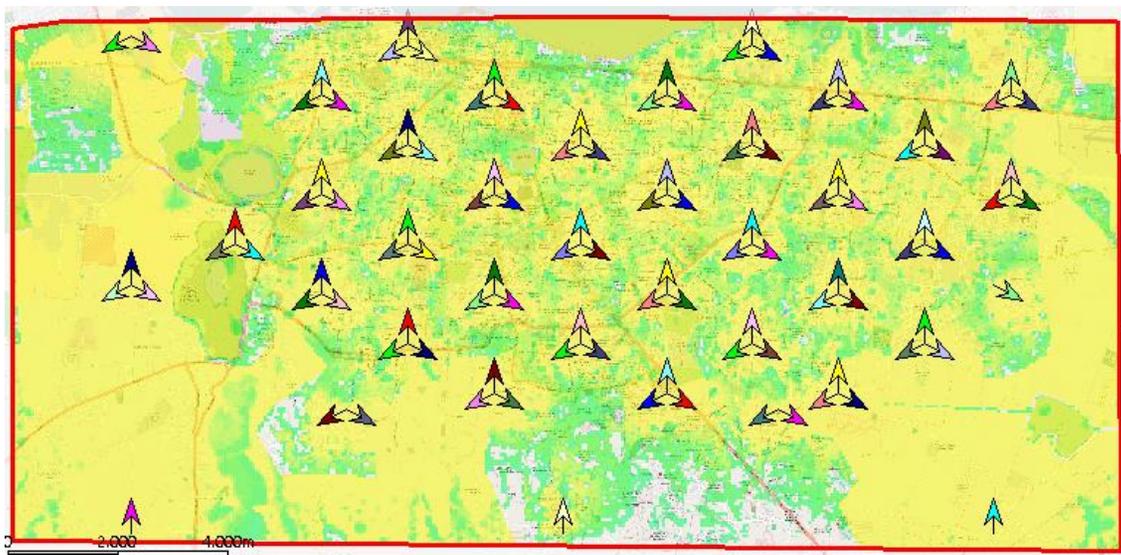


Ilustración 157 - Calidad de la señal en el enlace ascendente LTE

¿Qué relación encuentra entre ambas predicciones?

Ejercicio 6: Mapa de tráfico

Para poder realizar los estudios basados en simulaciones, es necesario tener información acerca del tráfico de los usuarios, y el uso que éstos hacen de los servicios. Para ello, utilice la información de entornos, movilidad y tipo de terminales que están configurados por defecto en Atoll. Lo único que hace falta es relacionar toda esta información con cada punto del mapa, a través de un mapa de tráfico.

E vista de que ya se tiene un mapa de uso de terreno (clutter classes), lo que resta es relacionar cada código del mapa con un entorno. Para ello, debe hacer lo siguiente:

Exporte el mapa clutter a un archivo BMP. En el panel GEO, clic derecho sobre clutter clases >> Save as. Elija el formato BMP, y guárdelo en la carpeta donde está guardando el proyecto.

A continuación, vaya a Traffic Maps, haga clic derecho >> New Map.

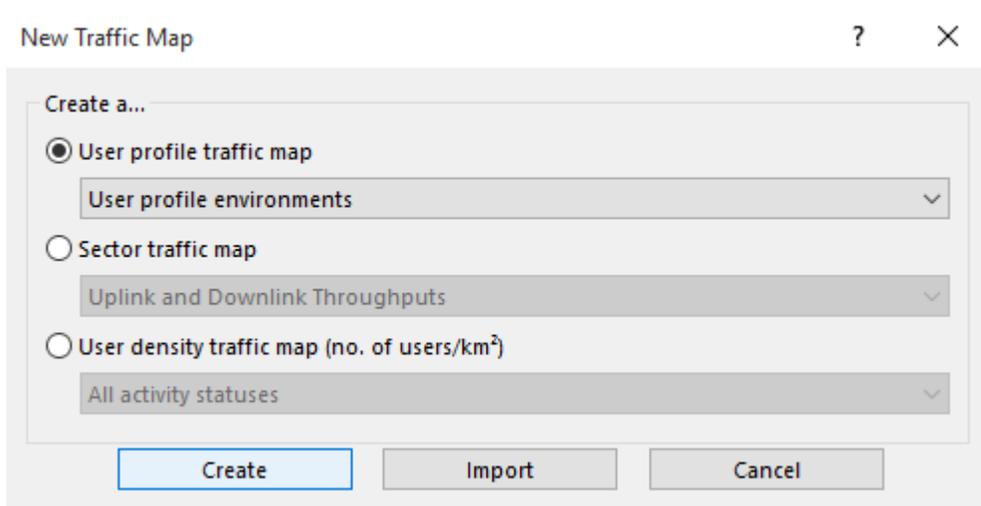


Ilustración 158 - Creación de mapa de tráfico partiendo de Clutter Classes

En el cuadro de diálogo New Traffic Map, elija User profile Traffic Map: User profile environments, luego pulse Import. Seleccione el mapa que guardó previamente.

Una vez seleccionado, debe asociar cada código del mapa con un entorno de usuario. Para ello, utilice la información de la tabla.

Tabla 17 - Asociación de entornos según uso de terreno LTE

Código	Uso	Entorno
0	--	Rural
1	Zona abierta	Rural
2	Forestal	Rural
3	Agua (Lagos y ríos)	Rural
4	Residenciales	Urban
5	Zona industrial	Urban
6	Edificios	Dense Urban
7	Zona urbana densa	Dense Urban

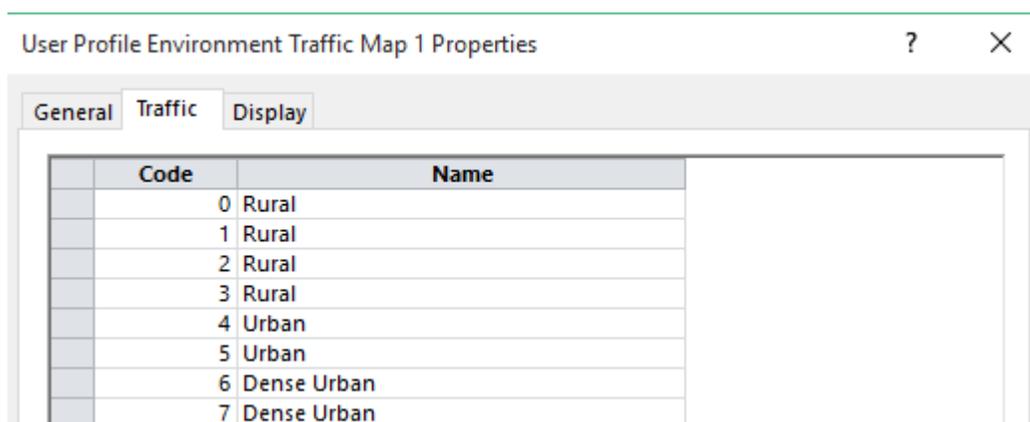
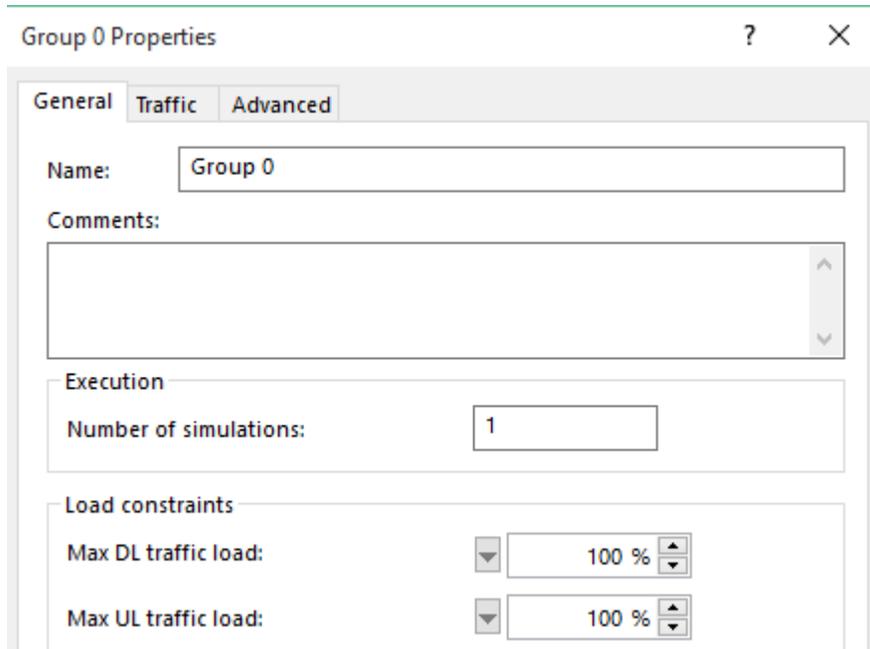


Ilustración 159 - Entornos del mapa de tráfico según usos de terreno LTE

Como resultado, se tendrá un mapa de tráfico idéntico al mapa clutter.

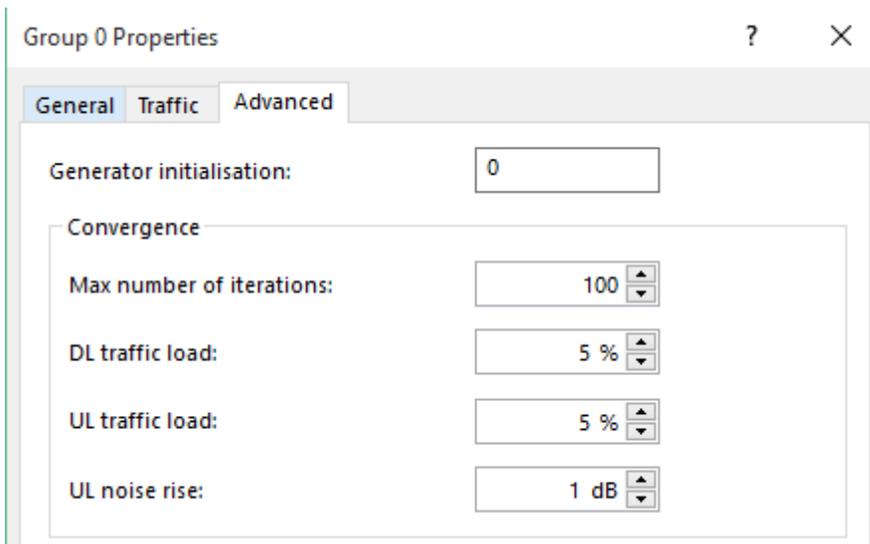
Ejercicio 7: Simulaciones.

Haga una simulación con los parámetros por defecto de Atoll, tal como se muestra en las ilustraciones.



The screenshot shows the 'Group 0 Properties' dialog box with the 'Traffic' tab selected. The 'Name' field is set to 'Group 0'. The 'Comments' field is empty. Under the 'Execution' section, the 'Number of simulations' is set to 1. Under the 'Load constraints' section, both 'Max DL traffic load' and 'Max UL traffic load' are set to 100%.

Ilustración 160 - Creando grupo de simulaciones LTE



The screenshot shows the 'Group 0 Properties' dialog box with the 'Advanced' tab selected. The 'Generator initialisation' is set to 0. Under the 'Convergence' section, the 'Max number of iterations' is set to 100, 'DL traffic load' is set to 5%, 'UL traffic load' is set to 5%, and 'UL noise rise' is set to 1 dB.

Ilustración 161 - Configuración de carga de tráfico en simulaciones LTE



Ilustración 162 - Simulación de usuarios para escenario LTE

De acuerdo con sus resultados ¿En qué zonas debería haber mejoras en el despliegue de la red? ¿Se han alcanzado los objetivos de calidad previstos al inicio de la práctica?

Ejercicio 8: Análisis de impacto de reutilización de frecuencias y estrategias ICIC

En el presente apartado se hará un análisis del impacto de la reutilización de frecuencias FFR3, FFR1 e ICIC. Para ello, se hará un estudio (predicción) del rendimiento de la señal con cada escenario, a fin de hacer comparaciones entre ellos.

Nota: Para los tres escenarios, se sugiere implementar la siguiente configuración en las simulaciones:

Terminal: Mobile Terminal.

Movilidad: Pedestrian.

Servicio: Mobile Internet Access.

Shadowing: 80%

Recuerde modificar estos parámetros cada vez que haga una predicción del tipo Coverage by Throughput (DL), en la pestaña Conditions.

Terminal:	Mobility:
Mobile Terminal	Pedestrian
Service:	
Mobile Internet Access	
<input checked="" type="checkbox"/> Shadowing taken into account	Cell edge coverage probability: 80 %

Ilustración 163 - Parámetros para las predicciones por rendimiento LTE

FFR1

Para este escenario, se tendrán todas las celdas trabajando en un mismo canal. Verifique la configuración de la banda E-UTRABAND 1 – 15MHz (la banda que se está utilizando), para ver los canales disponibles.

E-UTRA Band 1 - 15MHz Properties

General

Name: E-UTRA Band 1 - 15MHz

DL start frequency: 2.110 MHz UL start frequency: 1.920 MHz

First channel number: 75 Channel width: 15 MHz

Last channel number: 525 Inter-channel spacing: 0 MHz

Channel number step: 150

Excluded channels:

Adjacent channel suppression factor: 26,99 dB

Sampling frequency: 23,04 MHz

Number of frequency blocks: 75

Duplexing method: FDD

Ilustración 164 - Propiedades de la banda de frecuencias E-UTRA Band 1

Como se puede apreciar, el primer canal utilizable es el 75, y el último el 525, habiendo una distancia entre canales de 150. Es decir, los canales utilizables según esta configuración, si se inicia en el canal 75, serían: 75, 225, 375 y 525.

Conociendo esta información, en la tabla de celdas (GEO Explorer >> Transmitters >> Cells >> Open Table), verifique que todas las celdas están usando el canal 75, y cambie el valor del campo Channel Allocation Status a "Allocated" (Puede utilizar la herramienta para reemplazar:

CTRL + H).

Ilustración 165 - Ubicación de canales en la tabla de celdas con la herramienta Reemplazar

Elija Reemplazar todo.

Transmitter	Name	ID	Active	Order	Layer	Cell Type	Frequency Band	Channel Number	Channel Allocation Status
Site0_1	Site0_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated
Site0_2	Site0_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated
Site0_3	Site0_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated
Site1_1	Site1_1(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated
Site1_2	Site1_2(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated
Site1_3	Site1_3(0)		<input checked="" type="checkbox"/>	1	Macro Lay	LTE	E-UTRA Band 1 - 15MH	75	Allocated

Ilustración 166 - Resultados de ubicación de bandas de frecuencias en la tabla de celdas

Genere una predicción del tipo: Coverage by Throughput (DL), y guárdelo como Coverage by Throughput (DL) FFR1.

ICIC

Sobre la misma configuración anterior, en la tabla de celdas, active la coordinación de interferencia intercelular (ICIC) con un umbral de pérdidas (Threshold Path Loss) de 4dB.

En el campo ICIC Delta Path Loss Threshold, cambie los valores a 4.

En el campo Interference Coordination Support, elija Static DL

En el campo Cell-Edge Traffic Ratio (DL) (%), asigne 25. Esto significa que el 25% de los usuarios se encuentran en el área de borde de la celda.

Handover Margin (dB)	ICIC Delta Path Loss Threshold (dB)	Fractional Power Control Factor	Max Noise Rise (UL) (dB)	Max PUSCH C/(I+N) (dB)	Interference Coordination Support
0	4	1	6	20	Static DL
0	4	1	6	20	Static DL
0	4	1	6	20	Static DL
0	4	1	6	20	Static DL

Ilustración 167 - Activación de ICIC en la tabla de celdas LTE

Realice una predicción del tipo Coverage by Throughput (DL), y nómbrala Coverage by

Throughput (DL) ICIC.

FFR3

En primer lugar, modifique la banda de frecuencias E-UTRA BAND 1 – 15MHz, para que use exactamente tres canales de frecuencia. Simplemente debe modificar el valor del campo Last-Channel a 375.

Abra la tabla de bandas de frecuencias: Panel Parameters >> Radio Network Settings >> Frecuencias >> Band.

Busque la banda E-UTRA BAND 1 – 15 MHz, y modifique el valor del campo mencionado.

Inter-channel spacing (MHz)	Number of Frequency Blocks	Sampling Frequency (MHz)	First channel	Last channel	Step
0	50	15,36	50	550	100
0	75	23,04	75	375	150
0	100	30,72	100	500	200
0	25	7,68	25	575	50

Ilustración 168 - Edición de último canal de la banda E-UTRA Band 1

Para utilizar FFR3, debe distribuir las bandas de frecuencias de cada celda, de tal forma que la celda adyacente a una celda dada, tenga una banda de frecuencia diferente. Una buena idea es distribuir las bandas por sector, recuerde que ha partido de la plantilla Urban de tres sectores y Suburban de tres sectores; pero eso debió hacerse al inicio, antes de poner la primera estación base. Afortunadamente, existe una utilidad para hacerlo de forma automática, se trata de la herramienta Automatic Frequency Planning (AFP), de Atoll.

Haga clic derecho sobre la carpeta Transmitters, luego elija AFP >> Automatic Allocation.

En el campo Allocate, seleccione Frecuencias.

Configure el campo Reuse distance a 1.500 metros.

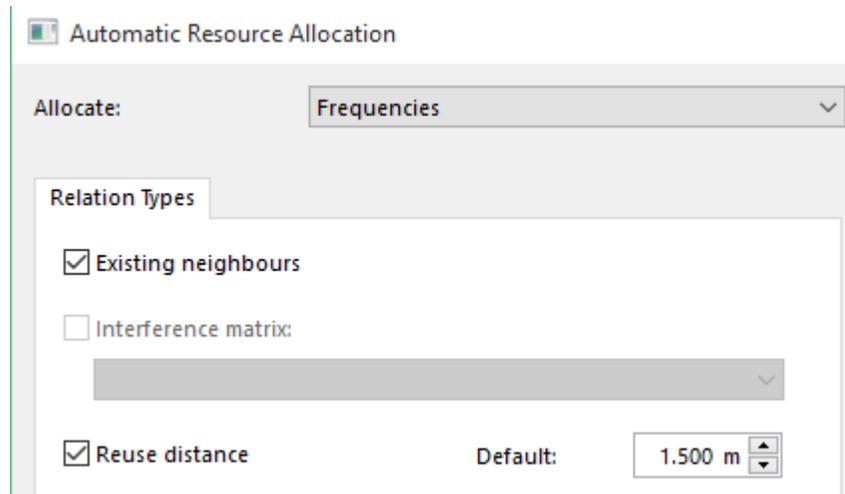


Ilustración 169 - Configuración de ubicación automática de recursos

Haga clic en Start.

Notará los cambios en el campo Channel Number de la pestaña Results. Puede comparar los con los valores con los del campo Initial Channel Number.

Events Progress Results Distribution						
	Site	Transmitter	Name	Frequency Band	Initial Channel Number	Channel Number
	Site0	Site0_1	Site0_1(0)	E-UTRA Band 1 - 15	75	225
		Site0_2	Site0_2(0)	E-UTRA Band 1 - 15	75	375
		Site0_3	Site0_3(0)	E-UTRA Band 1 - 15	75	75
	Site1	Site1_1	Site1_1(0)	E-UTRA Band 1 - 15	75	225
		Site1_2	Site1_2(0)	E-UTRA Band 1 - 15	75	375

Ilustración 170 - Resultado de la ubicación automática de frecuencias

Presione Commit para guardar los cambios.

Realice una predicción del tipo Coverage by Throughput (DL), y nómbrala Coverage by Throughput (DL) FFR3.

Compare los resultados de ICIC, FFR1 y FFR3.

¿Cuál de las tres estrategias mejora el rendimiento de la red?

Puede hacer uso de la herramienta de comparación de Atoll. Por ejemplo: Haga clic derecho sobre la predicción Coverage by Throughput (DL) FFR3, y elija Compare With >> Coverage by Throughput (DL) FFR1.

En el campo Display Type, seleccione Value Difference.

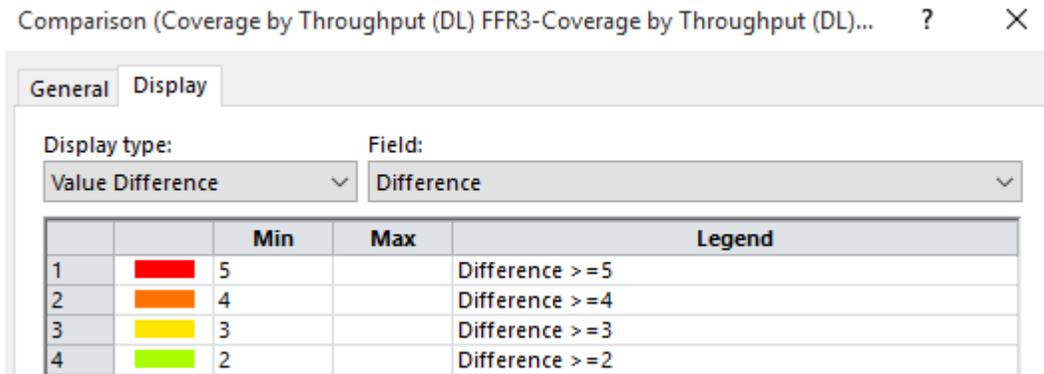


Ilustración 171 - Configuración de comparación de predicciones

Se generará una comparación en la lista de predicciones, con cuyos datos puede generar un histograma, si lo desea.

Ejercicio 9: Análisis de impacto MIMO

En este ejercicio se analizará el impacto que tiene usar terminales MIMO. Antes de iniciar, haga los siguientes cambios:

En la tabla de celdas (Cells Table), modifique el campo Traffic Load (DL) a 25% para todas las celdas.

Diversity Support (DL)	Diversity Support (UL)	Number of co-scheduled MU-MIMO users (DL)	Number of co-scheduled MU-MIMO users (UL)	Traffic Load (DL) (%)
	Receive Dive	2	2	25
	Receive Dive	2	2	25
	Receive Dive	2	2	25

Ilustración 172 - Configuración de la carga de tráfico (Traffic Load) en la tabla de celdas

Haga una predicción del tipo Coverage by Throughput (DL) con las condiciones siguientes:

Terminal: Mobile Terminal.

Movilidad: Pedestrian.

Servicio: High Speed Internet.

Guárdela como Coverage by Throughput (DL) No MINO.

En la tabla Transmitters, verifique los campos: Number Of Transmission Antena Ports y Number of Reception Antena Ports, ambos deben estar configurados a 2 para todos los transmisores.

Smart Antenna Equipment	Number of Transmission Antenna Ports	Number of Reception Antenna Ports
	2	2
	2	2

Ilustración 173 - Número de puertos de transmisión y recepción para los transmisores LTE

En la tabla de celdas, modifique el campo Diversity Support (DL) asignando el valor Transmit Diversity para todas las celdas.

Scheduler	Diversity Support (DL)	Diversity Support (UL)
Round Robin	Transmit Diversity	Receive Diversity;SU-MIMO
Round Robin	Transmit Diversity	Receive Diversity;SU-MIMO
Round Robin	Transmit Diversity	Receive Diversity;SU-MIMO

Ilustración 174 - Asignación de soporte de diversidad en la tabla de celdas LTE

Haga una predicción del tipo Coverage by Throughput (DL) con las condiciones siguientes:

Terminal: MIMO Terminal.

Movilidad: Pedestrian.

Servicio: High Speed Internet.

Guárdela como Coverage by Throughput (DL) MIMO.

Compare los resultados.

Ejercicio 10: Exportando el mapa a Google Earth

Para una mejor visualización de los resultados, puede enviar la información del proyecto a Google Earth, para ello, haga clic en Tools, en la barra de menús, y elija Export to Google Earth.

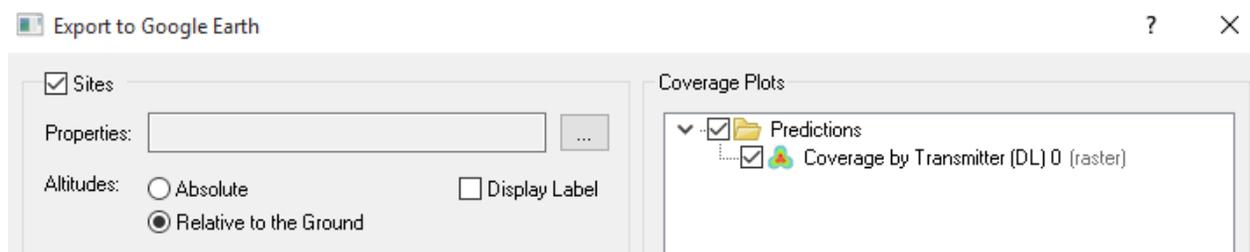


Ilustración 175 - Exportando información an Google Earth

A la izquierda, desactive la casilla “Display Label”, si lo prefiere. A la derecha, elija los elementos que desea enviar a Google Earth.

El resultado será similar a lo que se muestra en la Ilustración 176.

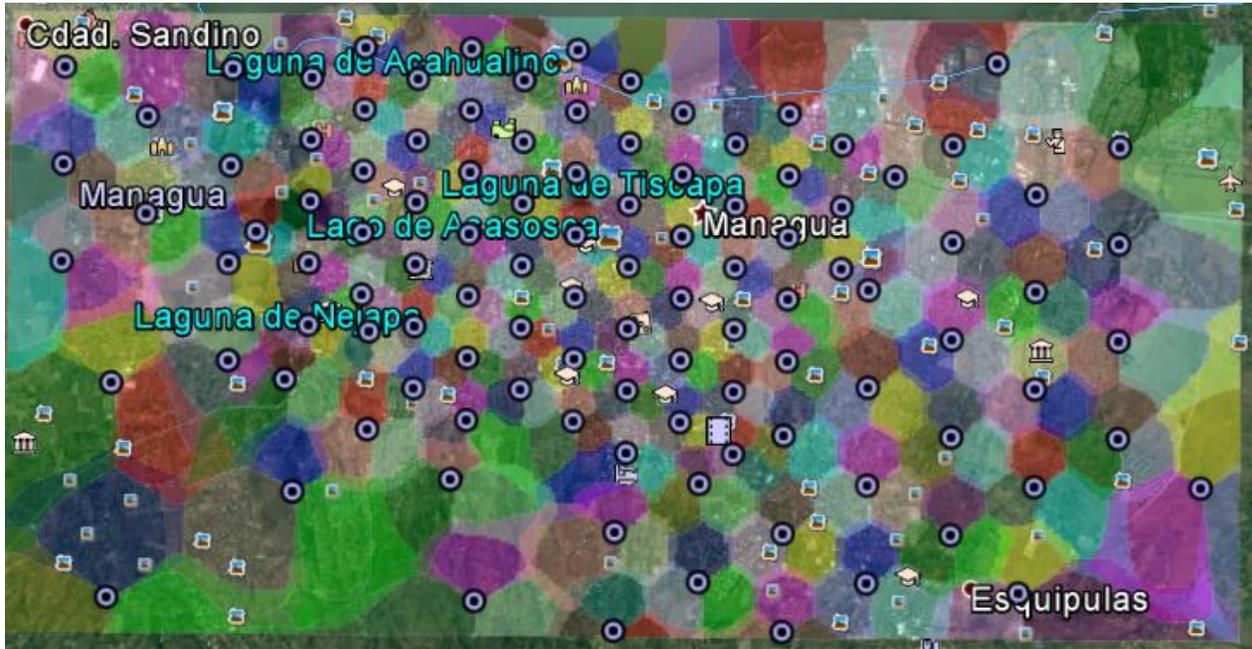


Ilustración 176 - Predicciones por Transmisor visto desde Google Earth



Ilustración 177 - Cobertura de una estación base vista desde Google Earth

Nota: Si no ubicó de forma correcta las mapas al inicio, la información se mostrará en una ubicación no deseada en Google Earth.

Actividades para el estudiante

Como pudo apreciar, los estudios de cobertura por rendimiento del enlace de bajada, han dado resultados bajos en cuanto al rendimiento de la red. Esto se debe a que se hizo un despliegue de la red partiendo de una plantilla para entorno urbano, cuando en el mapa de tráfico configuramos las áreas como urbano denso (Dense Urban). Atoll sugiere que en el entorno Dense Urban, las celdas sean más pequeñas (350 metros).

Para tener resultados más óptimos, realice un nuevo proyecto con las mismas configuraciones, pero utilizando plantillas de estaciones base para entornos más poblados, de la manera siguiente:

- 10 MHz FDD Dense Urban, para la parte central de la ciudad (Todo lo que está como Dense Urban según el mapa Clutter).
- 10 MHz FDD Urban, para las partes donde haya residenciales y zonas industriales y zonas industriales.
- 10 MHz FDD Suburban para ambientes externos.

Haga de nuevo las simulaciones, y compare los resultados obtenidos.

Práctica de laboratorio 5 – Planificación de una red WiMAX

Competencias:

Después de realizada esta práctica el estudiante será capaz de:

- Explicar el proceso de planificación de una red WiMax
- Conocer los parámetros que influyen en la planificación de una red WiMax.
- Entender conceptos propios de la tecnología WiMax.

Temporización:

El plazo de realización de esta práctica será de dos sesiones de laboratorio.

Bibliografía:

- Forsk 2014, Atoll 3.2.1 User Manual Radio.
- Antonio Carmona, 2008, Planificación mediante Atoll de red WiMax móvil para los centros de la Universidad de Sevilla.

Requerimientos mínimos

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz.
 - RAM: 1 GB.
- Software:
 - Windows XP.
 - Atoll Versión 3.3.
 - Global Mapper 16.1.

Conocimientos Previos

- Conocer las características básicas de Atoll.
- Conocer los conceptos básicos de la tecnología WiMax.

Descripción del escenario de la práctica:

- La presente práctica consiste en la planificación de una red WiMax para la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNÁN-León, utilizando la herramienta Atoll, con el fin de proporcionar acceso inalámbrico, a voz y datos, a los miembros de la UNÁN León. Esta red estará formada por una serie de puntos de acceso (Estaciones Base) situados en los centros que forman la Universidad, donde sea necesario implementar dichas estaciones.
- Los recintos que se han considerado para formar parte de la red de acceso son:
 1. Facultad de Ciencias y Tecnología (Básico).
 2. Edificio Central de la UNÁN León.
 3. Centro de Investigación en Demografía y Salud (CIDS).
 4. Facultad de Derecho.
 5. Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades.
 6. Campus Médico.
 7. Anexo de Derecho (Jorge Arguello).
- Se utilizará un rango de frecuencia asignado por TELCOR (ente regulador) para redes telefónicas multicanales en todo el país, en este caso será de 4400 MHz-4800 MHz.
- Se hará uso de 13 transmisores (antenas) del modelo kathrein, 65° uad Port Panel Antenna, mismos con los que cuenta la Universidad para la implementación de la red.
- La Universidad brindará los servicios de FTP Download, VoIP, Web Browsing, a tres tipos de usuarios: Docentes, estudiantes y personal administrativo.
- Se garantizará un nivel de señal de -80 dBm en todos los centros de la Universidad.
- Se utilizará el modelo de propagación WLL para este escenario.
- Se probará el funcionamiento de la red a través de predicciones y simulaciones.

Los aspectos que estaremos abordando en esta práctica serán los siguientes:

- Creación de proyecto en Atoll e importación de Mapas.
- Configuración de parámetros de diseño.
- Definición y creación de nueva banda de frecuencias.
- Creación y configuración de Perfiles de usuario.
- Creación y configuración de entornos.
- Estudios de cobertura (predicciones): Por nivel de señal, por transmisor.
- Simulaciones. (Comprobación de funcionamiento).

Esta práctica no contempla aspectos de presupuestos de la red, solo se limita a planificar los puntos de acceso que formarán la red WiMAX para la UNÁN León.

Ejercicio 0: Creación e importación de Mapas.

Para ello primero debemos Generar el mapa Street del municipio de León donde se implementará la red WiMax.

1. Abrimos el programa Global Mapper y damos clic en File/Download Online Imagery/Topo/Terrain Maps.
2. Seleccionamos WORLDWIDE DATA, elegimos MapQuest OpenStreetMap Worldwide Street Maps y damos clic en conect.

Luego, seleccionamos el área de trabajo.



Ilustración 178 - Mapa de carreteras de la ciudad de León

- Guardamos el mapa, damos clic en File >> Export>>Export Raster>>Image Format, seleccionamos el formato BIL/BIP/BSQ File y damos ok en el cuadro de diálogo.

Aparecerá un nuevo cuadro de diálogo, en la pestaña option configure los valores del campo X-axis y Y-axis a 2.

A continuación seleccione la pestaña Export Bounds y marque la opción All Data Visible On Screen.

- El siguiente paso es generar el mapa de altimetría.

Genere un mapa de altimetría para la ciudad de León, desde la fuente ASTER GDEM v2 Worlwide Elevation Data (1 arc-second Resolution)

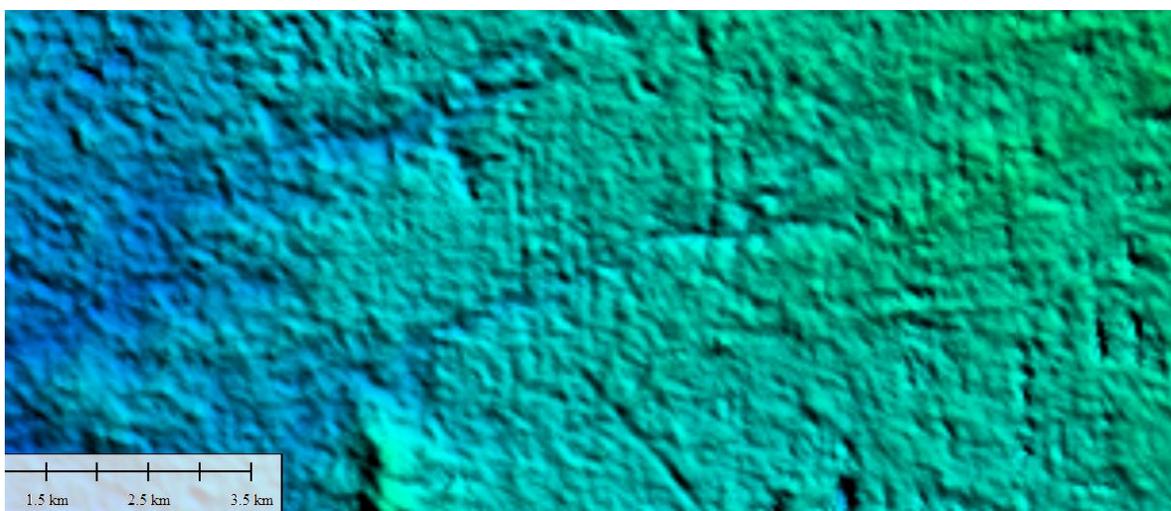


Ilustración 179 - Mapa de altimetría de la ciudad de León

Ahora abra Atoll y cree un nuevo proyecto, para ello haga clic en File>>New>>From a Document Template y seleccionamos WiMAX 802.16e y damos clic en OK.

Importe los mapas creados.

Ejercicio 1: Configuración de Frecuencias.

Considerando que el rango de banda de frecuencia 4400 MHz – 5000 MHz, se utiliza para la implementación de redes telefónicas multicanales de enlaces punto a punto en todo el territorio nacional, según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias CNAF de TELCOR, se hará uso del rango 4400 MHz-4800 MHz.

Hemos consultado la página de Telcor, para conocer el espectro radioeléctrico disponible.

Cuadro de Atribución de Frecuencias	
Rango de: 2.5 Ghz a 5	
Página 1 de 1	
Banda	Nacional
De 2498.5Mhz a 2500Mhz	FIJO, MÓVIL.
De 2500Mhz a 2696Mhz	FIJO. Notas: N109, N110.
De 2696Mhz a 2700Mhz	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE, RADIOASTRONOMÍA, INVESTIGACIÓN ESPACIAL.
De 2700Mhz a 2900Mhz	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA, Radiolocalización. Notas: N127.
De 2900Mhz a 3100Mhz	RADIONAVEGACIÓN, Radiolocalización.
De 3100Mhz a 3300Mhz	RADIOLOCALIZACIÓN, Exploración de la Tierra por Satélite, Investigación Espacial.
De 3300Mhz a 3400Mhz	RADIOLOCALIZACIÓN, Aficionados, Fijo, Móvil.
De 3400Mhz a 3700Mhz	FIJO, FIJO POR SATÉLITE. Notas: N111.
De 3700Mhz a 4200Mhz	FIJO, FIJO POR SATÉLITE, MÓVIL. Notas: N112.
De 4200Mhz a 4400Mhz	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA.
De 4400Mhz a 5000Mhz	FIJO. Notas: N114.
De 5000Mhz a 5150Mhz	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA.

Ilustración 180 - Cuadro de atribución de frecuencias de TELCOR¹⁴

¹⁴ (Ilustración 180 e Ilustración 181) Captura de pantalla del sitio www.telcor.gob.ni, el 15 de marzo de 2016.



Ilustración 181 - Atribución de la banda 4400 - 5000MHz según TELCOR¹⁴

Se debe añadir este rango a la tabla de banda de frecuencia en Atoll, para ello vaya al panel Parameters, seleccione Radio Network Settings >> Frecuencias >> Bands. Haga clic derecho sobre Bands y añada un nuevo campo en la tabla con los siguientes valores:

Name: 4.4 GHz-10 MHz

Duplexing Method: TDD

TDD: Start Frequency, FDD: DL Start Frequency (MHz): 4,400

Channel Width (MHz): 10

Inter-Channel spacing (MHz): 0

Sampling Factor: 1.12

First channel: 0

Last channel: 40

Step: 1

Adjacent Channel Suppression Factor (dB): 11

Ejercicio 2: Configuraciones de estaciones base.

La Universidad cuenta con 13 transmisores (antenas) del modelo kathrein, 65° uad Port Panel Antenna.

Para la realización de esta práctica será necesario crear una nueva plantilla de estación base en Atoll, puesto que ninguna de las que trae por defecto cumplen con requerimientos de este trabajo. Para ello vaya al panel Parameters, luego seleccione Radio Network Settings >> Station Templates y haga una copia de la plantilla 5MHz-Dense Urban (3 sectors). Nombre la copia como UNAN-León.

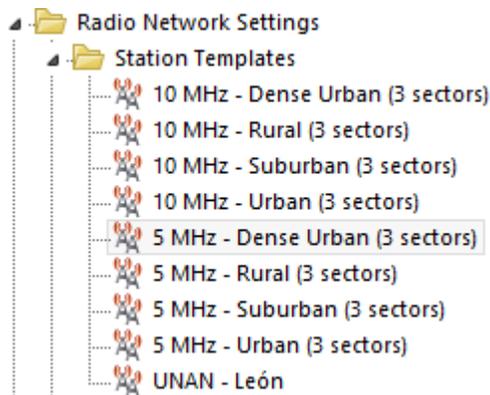


Ilustración 182 - Copia de la plantilla 5MHz - Dense Urban de tres sectores

Haga clic derecho sobre la nueva plantilla y elija propiedades.
A continuación, modifique los siguientes parámetros:

En la pestaña General elija WLL como modelo de propagación principal. Este modelo es el adecuado para WiMax, dado que trabaja en la banda de 30 a 10.000 MHz, la cual está dentro del rango de frecuencias previamente configurado.

Main radius por 1000 metros.

En la pestaña WiMAX, cambie la banda de frecuencia por la que acabamos de configurar.

Frequency band: 4.4 GHz- 10 MHz.

Ejercicio 3: Configuración de Servicios:

Los servicios que se van a ofrecer serán: FTP Download, VoIP, Web Browsing. Para cada servicio se mantendrán las características que asigna Atoll por defecto, puesto que son valores típicos para planificación de redes WiMAX; sin embargo se asignarán ciertos valores que se ajustarán a las necesidades del caso. Estas son las características:

FTP Download:

Type: Data

QoS class: Best Effort

Priority: 0

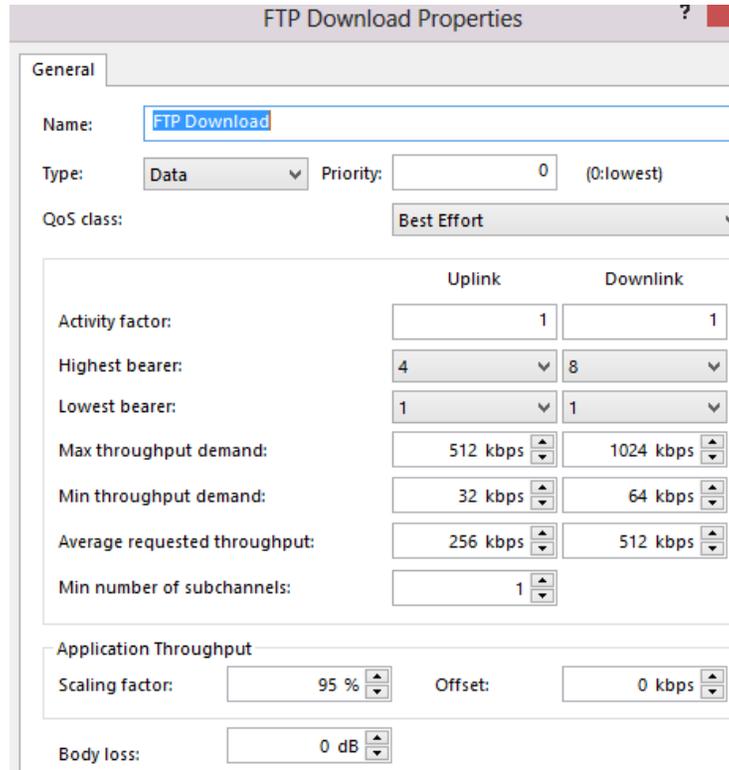
Max throughput demand. Uplink: 512 kbps, Downlink: 1024 kbps.

Min throughput demand. Uplink: 32 kbps, Downlink: 64 kbps

Average requested throughput: Uplink: 256, Downlink: 512 kbps

Podemos notar que FTP utilizará una calidad de servicio del tipo Best Effort, en la que no se garantiza un nivel mínimo de tasa de datos ni de retardo, de manera que se adaptará a lo

cargada que esté la red para proporcionar una determinada tasa de tráfico.



	Uplink	Downlink
Activity factor:	1	1
Highest bearer:	4	8
Lowest bearer:	1	1
Max throughput demand:	512 kbps	1024 kbps
Min throughput demand:	32 kbps	64 kbps
Average requested throughput:	256 kbps	512 kbps
Min number of subchannels:	1	

Application Throughput

Scaling factor: 95 % Offset: 0 kbps

Body loss: 0 dB

Ilustración 183 - Configuración del servicio FTP para WiMAX

Web Browsing:

Type: Data

QoS class: nrtPS

Priority: 0

Max throughput demand. Uplink: 256 kbps, Downlink: 512

Min throughput demand. Uplink: 32 kbps, Downlink: 64 kbps

Average requested throughput: Uplink: 128 kbps, Downlink: 256 kbps

Web Browsing utilizará una calidad de servicio del tipo de consulta diferido (non real time Polling Service), la cual permite soportar flujos de datos tolerantes a retardos y de tamaño variable pero con un ancho de banda mínimo requerido.

Web Browsing Properties

General

Name:

Type: Priority: (0:lowest)

QoS class:

	Uplink	Downlink
Activity factor:	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Highest bearer:	<input type="button" value="4"/>	<input type="button" value="8"/>
Lowest bearer:	<input type="button" value="1"/>	<input type="button" value="1"/>
Max throughput demand:	<input type="text" value="256 kbps"/>	<input type="text" value="512 kbps"/>
Min throughput demand:	<input type="text" value="32 kbps"/>	<input type="text" value="64 kbps"/>
Average requested throughput:	<input type="text" value="128 kbps"/>	<input type="text" value="256 kbps"/>
Min number of subchannels:	<input type="text" value="1"/>	

Application Throughput

Scaling factor: Offset:

Body loss:

Ilustración 184 - Configuración del servicio Web Browsing para WiMAX

VoIP:

Este servicio quedará con los valores que trae por defecto Atoll.

VoIP Properties

General

Name:

Type: Priority: (0:lowest)

QoS class:

	Uplink	Downlink
Activity factor:	<input type="text" value="0.6"/>	<input type="text" value="0.6"/>
Highest bearer:	<input type="button" value="4"/>	<input type="button" value="8"/>
Lowest bearer:	<input type="button" value="1"/>	<input type="button" value="1"/>
Max throughput demand:	<input type="text" value="12.2 kbps"/>	<input type="text" value="12.2 kbps"/>
Min throughput demand:	<input type="text" value="12.2 kbps"/>	<input type="text" value="12.2 kbps"/>
Average requested throughput:	<input type="text" value="12.2 kbps"/>	<input type="text" value="12.2 kbps"/>
Min number of subchannels:	<input type="text" value="1"/>	

Application Throughput

Scaling factor: Offset:

Body loss:

Ilustración 185 - Configuración del servicio VoIP para WiMAX

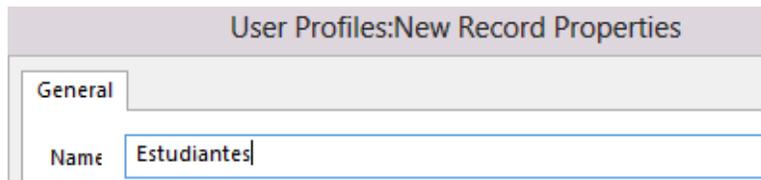
VoIP es un servicio de voz, por lo que se habrá de garantizar que la comunidad sea lo más continua posible, por lo cual utilizará una calidad UGS (Unsolicited Grant Service) o tipo garantizado no solicitado, que está diseñado para un tamaño fijo de paquetes a una tasa constante.

Ejercicio 4: Configuración de perfiles de Usuario:

Vaya al panel Parameters y haga clic sobre “Traffic Parameters”, seleccione “User Profiles”, de clic derecho sobre él y elija New, para crear un nuevo perfil de usuario.

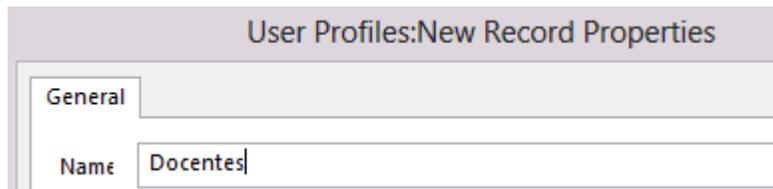
Cree tres perfiles de usuarios.

Estudiantes, Docentes y personal Administrativo.



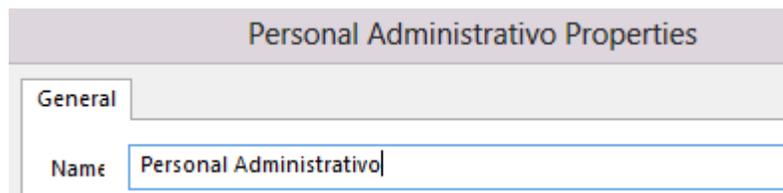
The screenshot shows a dialog box titled "User Profiles:New Record Properties". It has a "General" tab selected. Below the tab, there is a "Name" field with the text "Estudiantes" entered.

Ilustración 186 - Creando el perfil de usuarios Estudiantes



The screenshot shows a dialog box titled "User Profiles:New Record Properties". It has a "General" tab selected. Below the tab, there is a "Name" field with the text "Docentes" entered.

Ilustración 187 - Creando el perfil de usuarios Docentes



The screenshot shows a dialog box titled "Personal Administrativo Properties". It has a "General" tab selected. Below the tab, there is a "Name" field with the text "Personal Administrativo" entered.

Ilustración 188 - Creando el perfil de usuario Personal Administrativo

A continuación, configure los parámetros de cada uno de los perfiles de usuario.

Estudiantes:

Estudiantes Properties ?

General

Name:

Service use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	FTP Download	Mobile Terminal	0.01		2,000	15,000
	VoIP	Mobile Terminal	0.2	240		
	Web Browsing	Mobile Terminal	0.01		700	4,500

Ilustración 189 - Configuración del perfil de usuarios Estudiantes

Docentes:

Docentes Properties

General

Name:

Service use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	FTP Download	Mobile Terminal	0.02		1,500	10,000
	VoIP	Mobile Terminal	0.01	300		
	Web Browsing	Mobile Terminal	0.03		3,000	15,000
*						

Ilustración 190 - Configuración del perfil de usuarios Docentes

Personal Administrativo:

Personal Administrativo Properties ?

General

Name:

Service use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	FTP Download	Mobile Terminal	0.01		1,000	2,000
	VoIP	Mobile Terminal	0.02	240		
	Web Browsing	Mobile Terminal	0.01		2,000	10,000
*						

Ilustración 191 - Configuración del perfil de usuarios Personal Administrativo

Ejercicio 5: Configuración de Entornos:

Para ello, en la misma opción "Traffic Parametter", seleccione "Enviroments", de clic derecho y elija New y agregue los siguientes entornos:

Facultad de Ciencias de la Educ. y Humanidades

Facultad de Ciencias Médicas

Facultad de Ciencias y Tecnología

Facultad de Derecho

Hasta el momento se han creado cada uno de los entornos necesarios para esta práctica. Posteriormente se configurarán las propiedades de los mismos.

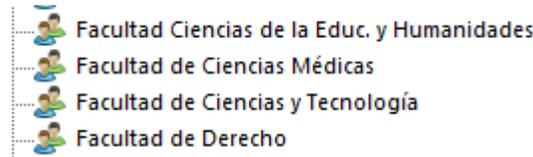


Ilustración 192 - Entornos de usuarios agregados para el escenario

Ejercicio 6: Estudios de cobertura o predicciones:

Una vez definidos los elementos y parámetros que definen la estructura de red se pasará a realizar estudios (Predictions). Atoll nos ofrece la posibilidad de realizar una gran variedad de estudios de cobertura, este apartado se basa en la realización de estudios de cobertura por nivel de señal y estudios de cobertura por transmisor.

Antes de realizar los estudios de cobertura, debemos delimitar la zona de cálculo de cobertura, esto es necesario para obtener estadísticas sobre la zona de interés que se vaya a estudiar de manera más precisa.

Para ello vaya al panel Geo Explorer y despliegue la carpeta Zones. En el Item Computation Zone, haga clic derecho, luego elija Draw Poligon.

Dibuje un polígono en el mapa, en la zona donde desea realizar el cálculo.

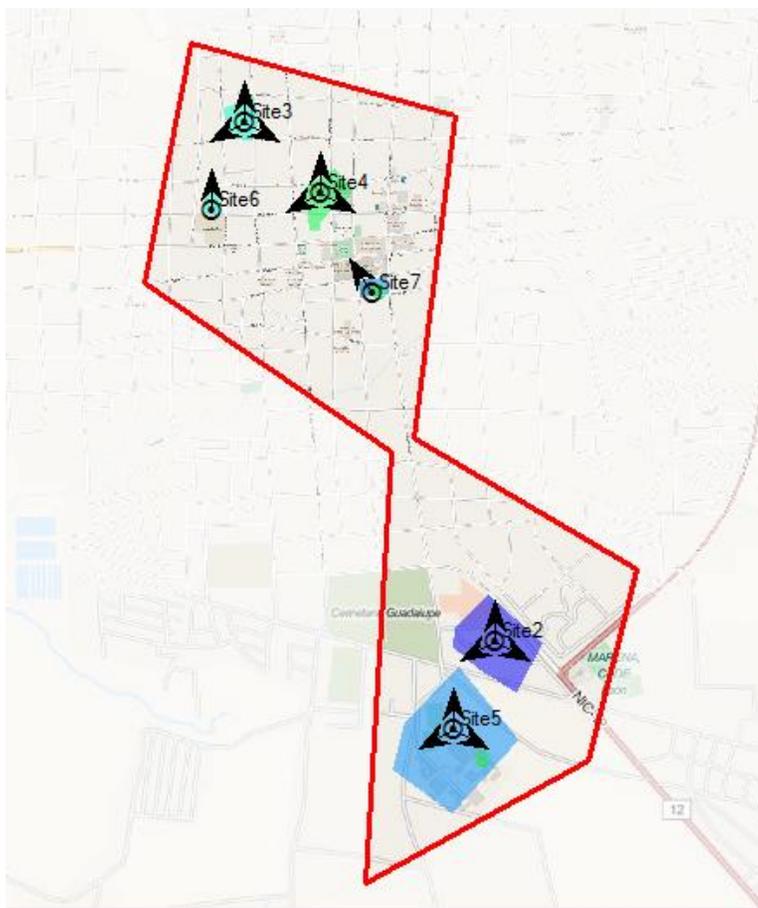


Ilustración 193 - Zona de cálculo para WiMAX

Ahora se procederá a realizar las predicciones. Se iniciará con las predicciones por nivel de Señal.

Estudios de cobertura por nivel de Señal:

Se mostrarán los niveles de señal obtenidos en cada uno de los emplazamientos para la configuración de estaciones base anteriormente detallada.

Puesto que se considera una sensibilidad del receptor de -95 dBm se ha de garantizar que en toda la superficie de los Campus existe un nivel de señal por encima de este valor, para que el terminal sea capaz de conectarse a la red. El margen será de -15 dB para prevenir posibles cortes de conexión debidos a desvanecimientos de la señal radioeléctrica, de ésta manera se tratará de garantizar niveles de señal de -80 dBm en todos los centros de la Universidad para que los usuarios tengan una más alta garantía de conexión.

Para la realización de la primera predicción:

Vaya al panel Network, sitúese donde dice predictions y de clic derecho en New Prediction.

Luego elija el tipo de predicción, en este caso, elija, "Coverage by Signal Level (DL)" y de clic en

OK

Le aparecerá una ventana como la siguiente.

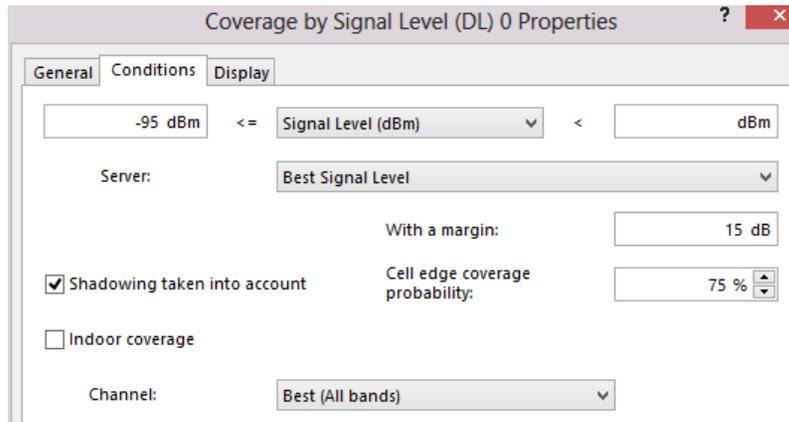


Ilustración 194 - Configuración de la predicción de cobertura por nivel de señal

En la pestaña Conditions introduzca unas condiciones de señal de -95 dBm, y una probabilidad de cobertura en la célula del 75%. En la pestaña Display seleccione que se muestren los resultados por nivel de señal. Ahora haga clic derecho sobre el estudio que ha creado y seleccione la opción Calculate para que se calculen y muestren los resultados.

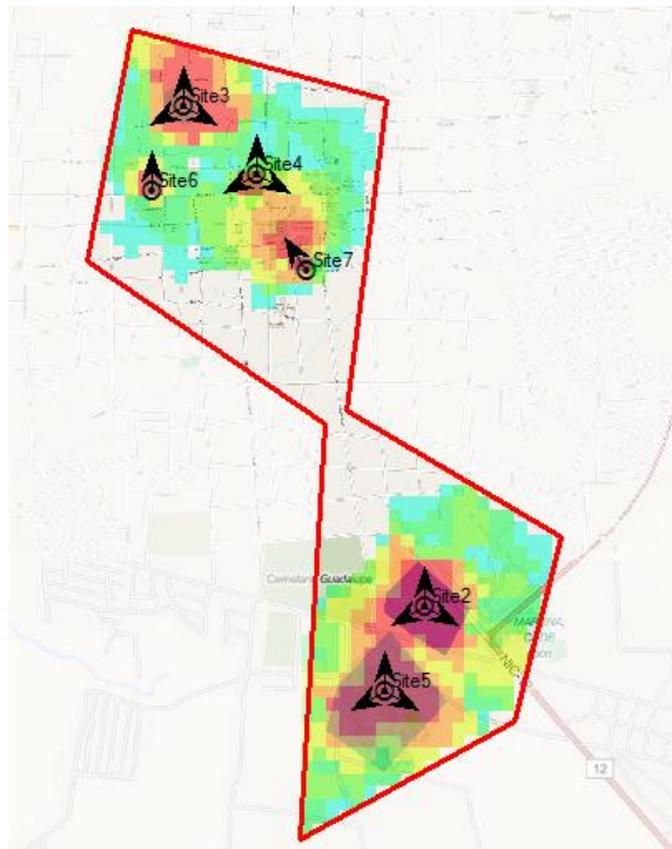


Ilustración 195 - Predicción de cobertura por nivel de señal WiMAX

Ahora active las diferentes casillas que se despliegan de la predicción que acaba de realizar, observe si el nivel de señal previsto anteriormente es suficiente para dar cobertura a cada uno de los centros de la Universidad y explique si el nivel de señal se puede mejorar.

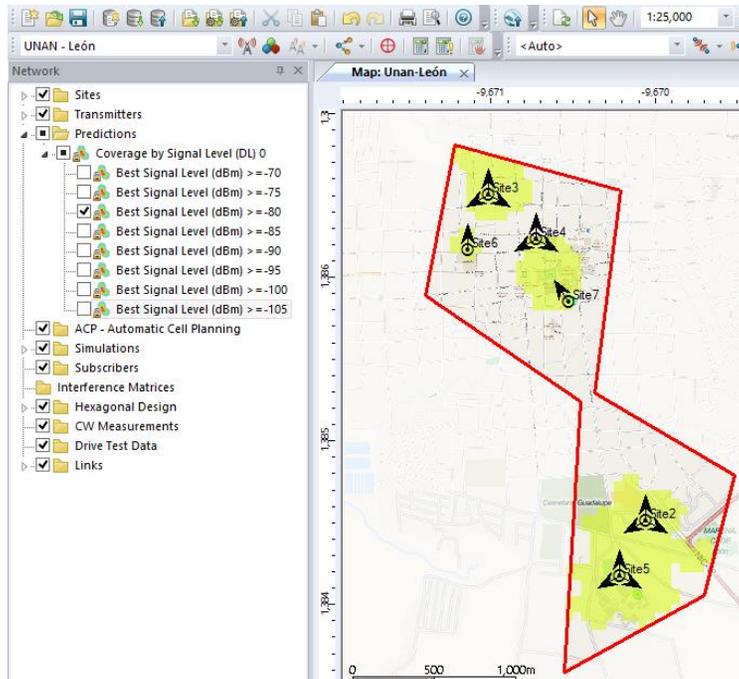


Ilustración 196 - Cobertura por nivel de señal WiMAX, área con potencia mayor a -80dBm

Para observar con mayor claridad los resultados obtenidos, puede ayudarse de los informes que genera Atoll. A partir de ellos puede analizar qué porcentaje de la superficie de cada uno de los centros posee cada valor representativo de señal.

Para generar informes, debe pulsar con el botón derecho sobre el estudio de cobertura (predicción) del que quiere saber sus datos (dicho estudio debe estar activado con un check), posteriormente seleccione la opción Generate Report.

A partir de los resultados obtenidos en el informe, explique si los objetivos anteriormente propuestos fueron conseguidos o no.

Estudio de cobertura por transmisor:

El siguiente paso es estudiar la superficie geográfica a la que le dará servicio cada uno de los sectores de todas las estaciones base distribuidas.

Para determinar las superficies que ocupará cada sector, Atoll considera que cada punto geográfico de nuestras zonas de interés recibirá servicio de red por parte del sector (de una determinada estación base) cuya señal radioeléctrica transmitida llegue con el mayor nivel de potencia a dicho emplazamiento.

Para realizar la predicción, lo primero que debe hacer es ir al panel Network y seleccionar Transmitters, de clic derecho sobre él y luego elija "properties", le aparecerá un cuadro de

diálogo con las propiedades de los transmisores. Vaya a la pestaña Display y en el campo Display Type seleccione Automatic, de esta manera podrá ver la señal de cada transmisor con un color diferente.

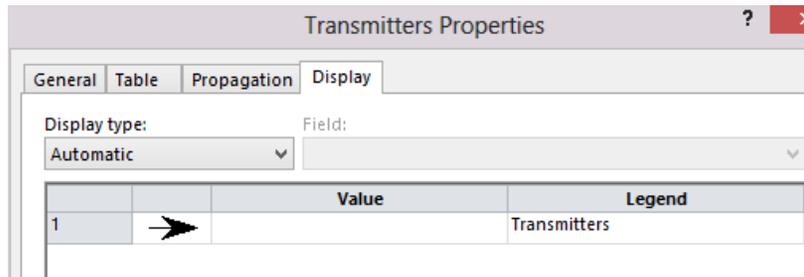


Ilustración 197 - Configuración de las propiedades de transmisores WiMAX

Siempre en el mismo panel Network, seleccione Predictions, dé clic derecho sobre él y seleccione “New Prediction”, aparecerá un cuadro donde debe seleccionar el tipo de predicción, en este caso será por transmisor y de clic en Ok.

Le aparecerá un cuadro con las propiedades de los transmisores. En la pestaña conditions configure los mismos parámetros que utilizó para los estudios de cobertura por nivel de señal.

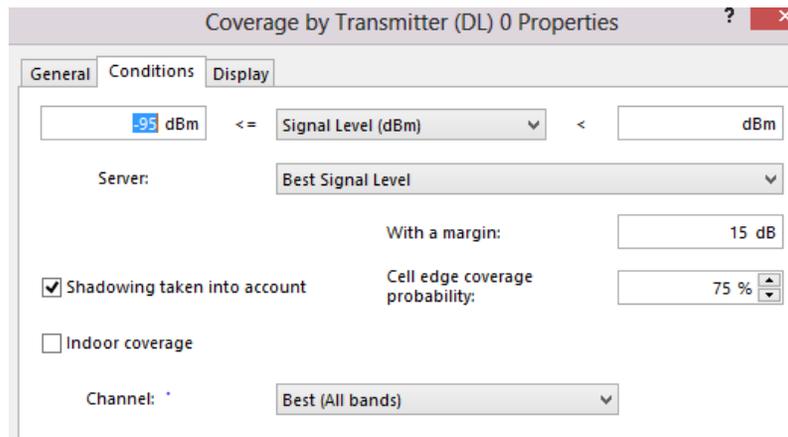


Ilustración 198 - Configuración de la predicción de cobertura por transmisor WiMAX

Le quedará algo parecido a la ilustración siguiente:

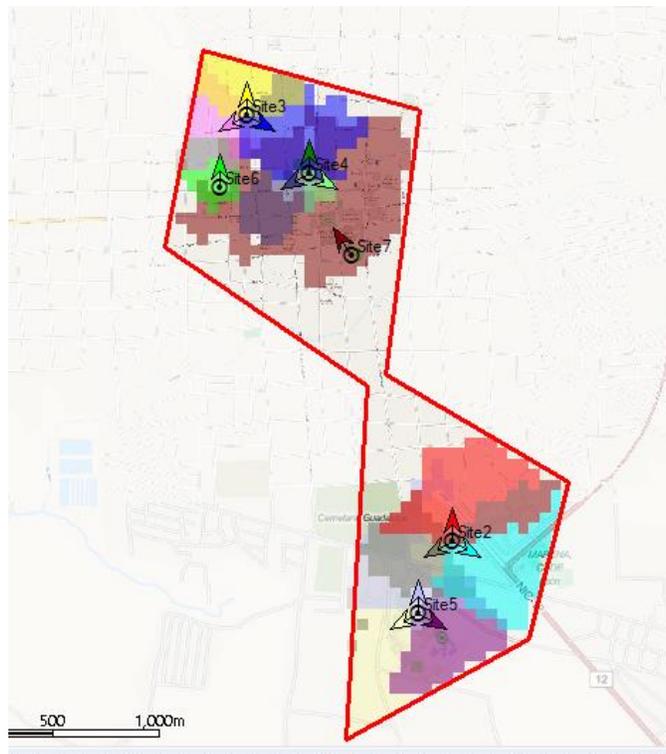


Ilustración 199 - Predicción de cobertura por transmisor WiMAX

Explique los resultados de la predicción que acaba de realizar y genere el informe para una mayor comprensión de los mismos.

Ejercicio 7: Configuración de mapas de tráfico.

Para realizar las simulaciones se requiere de la implementación de mapas de tráfico, por tanto se debe definir primeramente los mapas de tráfico para cada uno de los centros. Estos mapas de tráfico se basarán en los entornos (Enviroments) creados anteriormente.

Atoll, permite crear estos mapas simplemente dibujándolos. Para esto vaya al panel Geo, y de clic derecho sobre “Traffic Maps”, seleccione la opción “New Map”. Le aparecerá un cuadro de diálogo, en el cual debe elegir el tipo de mapa de tráfico que va a utilizar.

Seleccione “User profile traffic map” y en el submenú elija “User profile enviroments”.

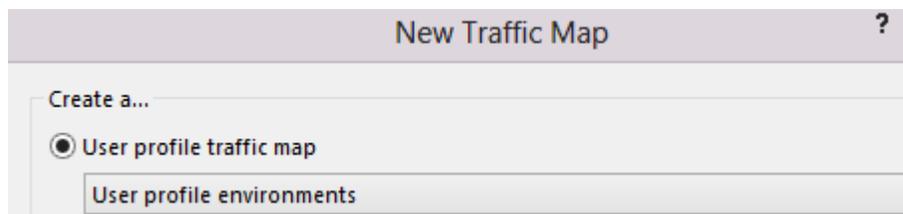


Ilustración 200 - Creando un mapa de tráfico WiMAX

A continuación de clic en Create y le aparecerá un cuadro como el siguiente:

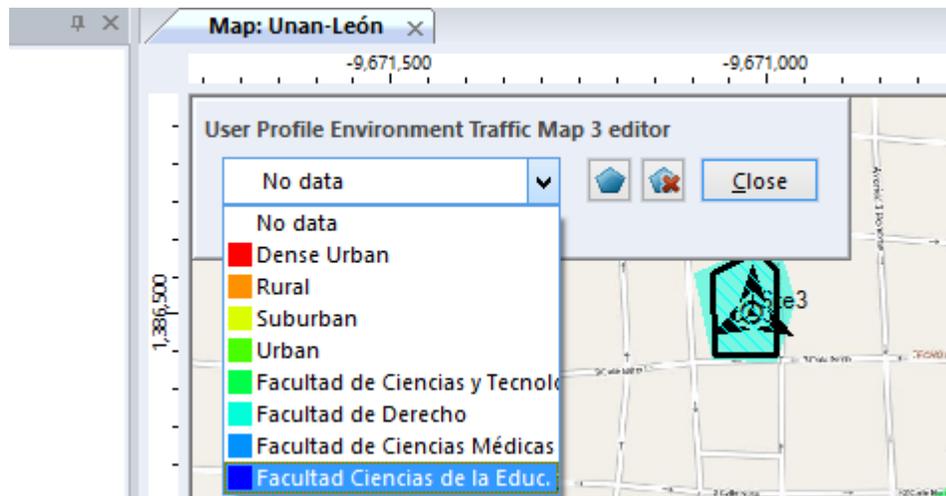


Ilustración 201 - Códigos de color por entorno para mapa de tráfico WiMAX

En el que cada color de la lista desplegable, se corresponde con cada uno de los entornos antes creados, debe ir sombreando el espacio de cobertura asociado con cada entorno, hasta crear cada uno de los mapas de tráfico.

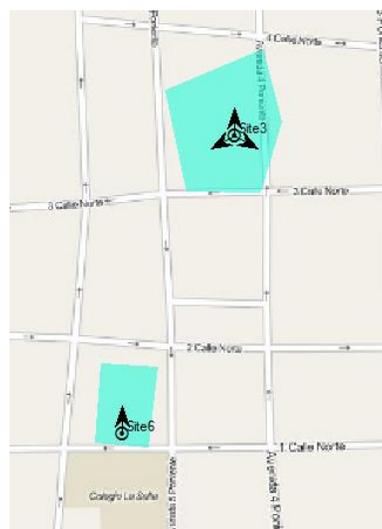


Ilustración 202 - Mapa de tráfico de la facultad de Derecho

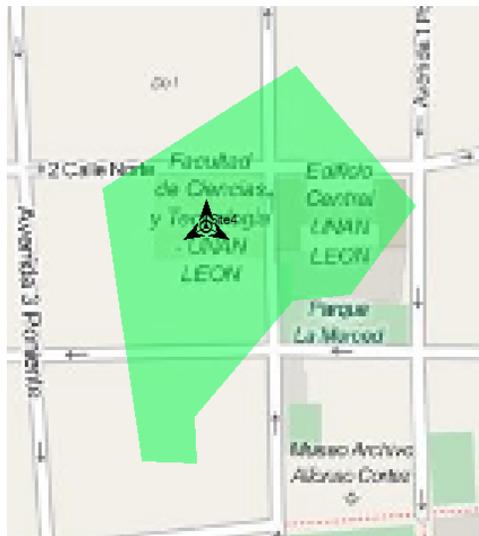


Ilustración 203 - Mapa de tráfico de la Facultad de Ciencias y Tecnología

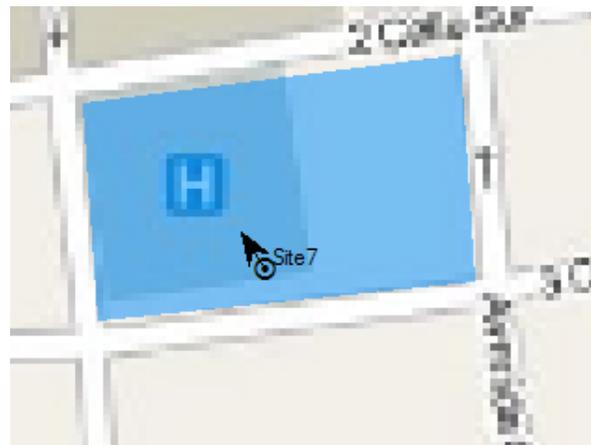


Ilustración 204 - Mapa de tráfico de HEODRA (Facultad de Ciencias Médicas)



Ilustración 205 - Mapa de tráfico de la Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades

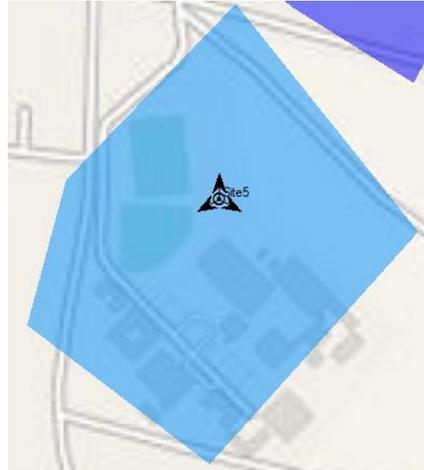


Ilustración 206 - Mapa de tráfico del Campus Médico (Facultad de Ciencias Médicas)

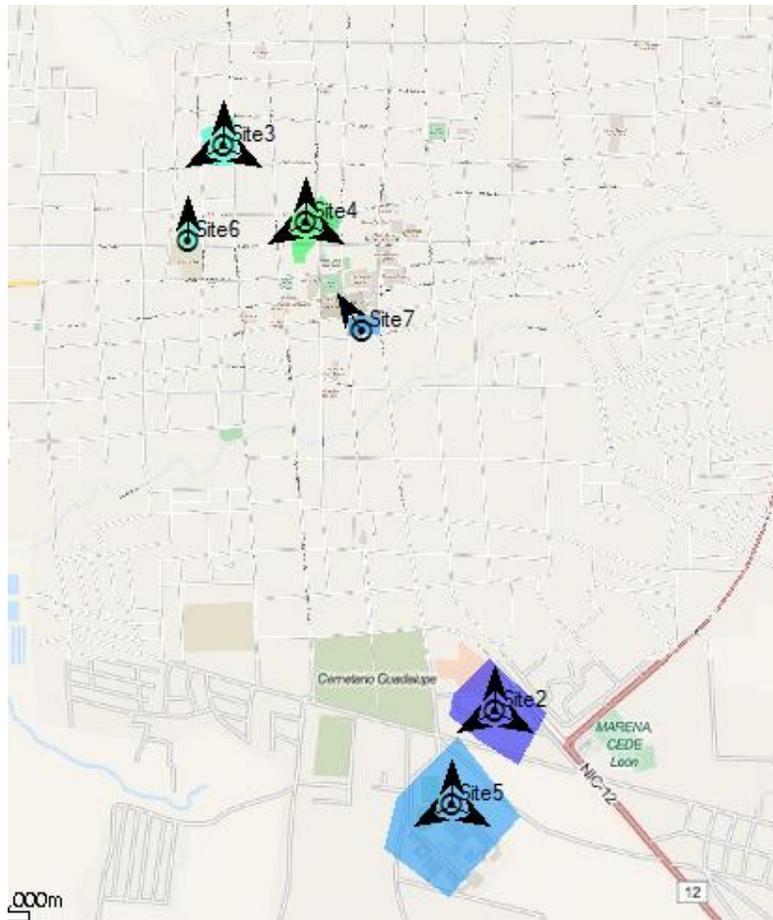


Ilustración 207 - Vista general de los mapas de tráfico para WiMAX UNAN-León

Ejercicio 8: Configuración de las propiedades de los entornos.

En este punto se configurarán las propiedades de los entornos creados anteriormente. Para ello haga clic derecho sobre el entorno que quiere configurar y seleccione “properties”, le aparecerá una ventana para configurar las propiedades.

Vaya a la pestaña General y rellene los campos de la tabla que le aparecerá con los siguientes valores:

El valor de la densidad se obtiene considerando la cantidad o número de usuarios que se quiere que estén conectados dividido entre la extensión en Km² de los mapas de tráfico generados por entorno.

Por ejemplo: En el entorno de la Facultad de Derecho. En los usuarios de tipo Docentes el número de usuarios que se estima estarán conectados es 70, este valor lo dividimos entre la extensión del mapa de tráfico de la facultad de Derecho que es: 0.0189, lo que da como resultado 3703.7037.

Se tomará un valor aproximado al del resultado.

Cuadro de número de usuarios conectados en cada entorno.

Tabla 18 - Número de usuarios por perfil de usuario y entorno WiMAX UNAN-León

Entorno	Perfil de Usuario		
	Docentes	Estudiantes	Personal Administrativo
Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades	60	200	100
Facultad de Ciencias Médicas	100	300	80
Facultad de Ciencias y Tecnología	50	250	70
Facultad de Derecho	70	300	60

Entorno de la Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades:

User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
Docentes	Pedestrian	900
Estudiantes	Pedestrian	3,000
Personal Administrativo	Pedestrian	1,500

Ilustración 208 - Entorno de la Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades

Facultad de Ciencias Médicas:

Facultad de Ciencias Médicas Properties

General **Clutter Weighting**

Name:

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Docentes	Pedestrian	600
	Estudiantes	Pedestrian	1,900
	Personal Administrativo	Pedestrian	500
*			

Ilustración 209 - Entorno de la Facultad de Ciencias Médicas

Facultad de Ciencias y Tecnología:

Facultad de Ciencias y Tecnología Properties

General **Clutter Weighting**

Name:

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Docentes	Pedestrian	2,000
	Estudiantes	Pedestrian	10,000
	Personal Administrativo	Pedestrian	3,000
*			

Ilustración 210 - Entorno de la Facultad de Ciencias y Tecnología

Facultad de Derecho:

Facultad de Derecho Properties

General **Clutter Weighting**

Name:

User profiles:

	User Profile	Mobility	Density (Subscribers/km ²)
	Docentes	Pedestrian	3,700
	Estudiantes	Pedestrian	15,000
	Personal Administrativo	Pedestrian	3,000
*			

Ilustración 211 - Entorno de la Facultad de Derecho

Ejercicio 9: Simulaciones:

El último paso que resta para culminar la planificación de radio de la red será mostrar el comportamiento del sistema completo en situaciones cercanas a la realidad.

Esta parte se refiere al estudio del comportamiento de la red WiMAX con simulaciones de casos reales.

Para realizar las simulaciones vaya al panel “Network”, y seleccione simulations, de clic derecho sobre el mismo y seleccione New, las simulaciones se harán por grupos, en nuestro caso se hará en grupo de 10 simulaciones. Le aparecerá un cuadro de las propiedades. En la pestaña General, escriba un nombre del grupo en el campo Name. Luego en Number of simulations escriba 10. Deje los demás campos con su valor por defecto.

En la pestaña Traffic le aparecerá el grupo de mapas de tráfico anteriormente creado. Active la casilla. Por último, en la pestaña “Advanced”, en los campos “DL traffic load” y “UL traffic load” escriba 90 %. Los demás campos déjelos con sus valores por defecto.

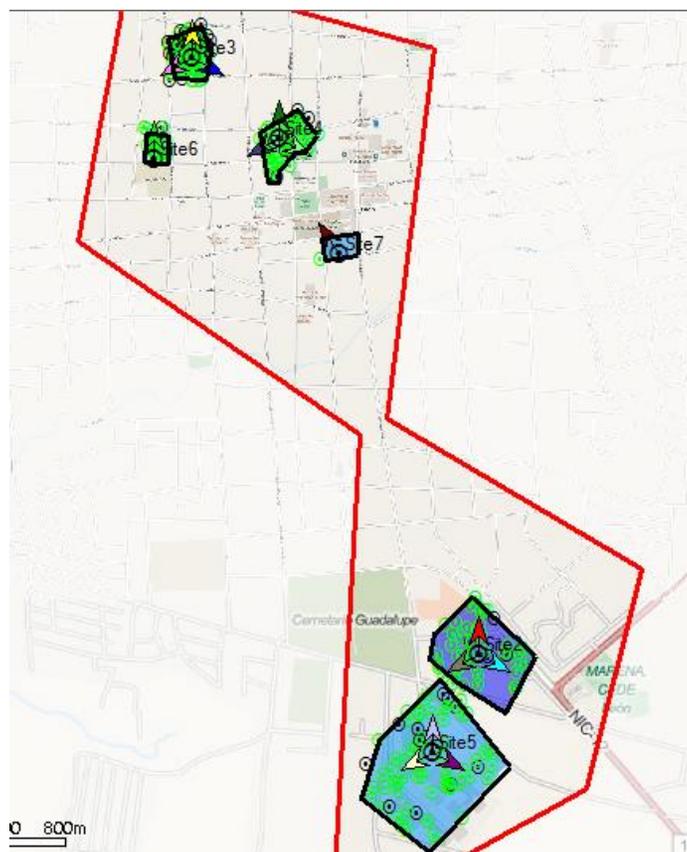


Ilustración 212 - Simulación de usuarios de WiMAX UNAN-León

También podemos ver las propiedades del grupo de simulaciones, tales como las estadísticas,

el promedio de sitios, el promedio de celdas, etc,

Para ello, de clic derecho sobre el grupo en y seleccionamos "Average Simulation".

Genere un reporte para cada grupo y analice los resultados.

Actividades para el estudiante

Realice una copia de la práctica y modifíquela para que se ajuste a las siguientes condiciones:

La Universidad pretende brindar conexión a 500 estudiantes más en el año 2017, distribuidos de la siguiente manera:

- Facultad Ciencias de la Educación y Humanidades: 100
 - Facultad Ciencias Médicas: 150
 - Facultad Ciencias y Tecnología: 150
 - Facultad de Derecho: 100
-
- Se necesita garantizar un nivel de señal mínimo de cobertura de -75 dBm.
 - Se quiere utilizar nuevos equipos con un soporte de frecuencia de 10 MHz. Para ello puede hacer una copia de la plantilla de estación base 10 MHz- Dense Urban (3 sectors) y luego configurar las características que sean necesarias para el desarrollo de la práctica.
 - Realizar las predicciones y simulaciones necesarias para probar el buen funcionamiento de la red WiMax.

Conclusiones

Hay una relación estrecha entre los protocolos de una misma generación de redes celulares, por lo que la mejor forma de clasificar los contenidos, es categorizarlos por generaciones. Esto facilita la realización de las prácticas, dado que Atoll contiene módulos que agrupan los protocolos más reconocidos de cada generación. A la vez, la clasificación de contenidos por generación, facilita la asignación de trabajos por unidad, de acuerdo con la microprogramación del componente.

Atoll es una herramienta orientada a la planificación de redes celulares tanto en ambientes reales como educativos; y se utiliza antes del despliegue de la red, aun cuando ésta se implemente en escenarios reales. Atoll, es, por lo tanto, una buena herramienta para la comprensión de conceptos sobre la temática.

Lo ideal sería contar con equipos calificados para el estudio de este tipo de temática (Analizador de espectro, osciloscopio, generados de frecuencias), para que a medida que el estudiante realiza las prácticas de laboratorio por medio del software, también haga pruebas reales, y pueda comparar los resultados

Cada práctica es una propuesta de planificación de una red celular dividida en una serie de ejercicios secuenciales guiados. Se determinó que esta forma de organizar cada práctica, hace de ésta una tarea más amena, y a la vez permite, tanto al estudiante como al docente, medir el avance de la realización de las prácticas de una manera más sencilla. Al final de cada práctica se proponen actividades para el estudiante, en donde ponga en práctica lo aprendido en los ejercicios realizados.

Se han elaborado, en total, cinco prácticas de laboratorio para el componente Tecnologías de Redes Celulares, y están contenidas en el presente documento. Además, se provee un conjunto de materiales necesarios para que el estudiante desarrolle las prácticas.

Recomendaciones

Al Departamento de Computación:

Con el trabajo actual, el estudio de las redes celulares es apenas incipiente en la carrera Ingeniería en Telemática de la Universidad. Se sugiere poner énfasis en el estudio de esta materia, incluyendo en el plan de estudios o en alguno de los componentes, un previo estudio de radiofrecuencia o física aplicada a las telecomunicaciones; y en la gestión de adquisición de materiales que lleven al estudiante a un conocimiento más integral en el campo. Esto último, a su vez, conducirá a las personas involucradas (docentes y estudiantes) a realizar investigaciones cada vez más robustas en el área de redes celulares.

Al personal docente:

Debido a que el componente curricular no cuenta con un plan docente teórico, los autores de las prácticas de laboratorio recomiendan el dominio de los siguientes temas teóricos por parte de los que vayan a desarrollar las prácticas aquí propuestas:

- Radiofrecuencia.
- Propagación de ondas.

Se recomienda que el curso completo (Teoría y Práctica) se desarrolle en un ambiente de laboratorio, para que en la medida en la que se van haciendo las prácticas, el docente explique los fundamentos teóricos asociados a cada una de ellas.

A medida que los estudiantes desarrollan capacidades aceptables en el manejo de la herramienta Atoll, y en los conocimientos básicos sobre la planificación y optimización de las redes celulares, el docente podrá prescindir de estas prácticas guiadas y orientar tareas con diferentes escenarios y problemas de la vida real, para los cuales, el presente proyecto sirva solamente como referencia.

A los estudiantes:

El presente trabajo sirva como una herramienta de iniciación en la planificación de redes celulares. Se recomienda al estudiante explorar alternativas en la planificación, y en otras áreas de dichas redes que en esta propuesta no han sido cubiertas. A fin de hacer el mejor aprovechamiento de los recursos que tenga a disposición.

Mejoras a este proyecto:

Las redes celulares están en constante movimiento, por lo que la presente propuesta debe considerarse incompleta dentro de muy pocos años. Será el rol de futuros trabajos de investigación, complementar esta información con la inclusión de protocolos y tecnologías que vayan surgiendo a través del tiempo.

Los materiales necesarios para el desarrollo de las prácticas, podrán ser accedidos desde los siguientes enlaces:

Contenido general (Docentes y estudiantes): <https://mega.nz/#F!CEFIRTJL>

Materiales para docentes: <https://mega.nz/#F!KFMBYbKB>

La contraseña de cada una de estas carpetas deberá ser solicitada por correo al tutor del presente trabajo.

Referencias bibliográficas

- [1] Telefónica I+D y AHCIENT, Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la sociedad de la información, División de Relaciones Corporativas y Comunicación de Telefónica I+D, 2005.
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Capacitación en Conformidad y Ensayos de Interoperabilidad Procedimientos de Homologación y Pruebas de Terminales Móviles,» 29 Mayo 2014. [En línea]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/Events2014/CI_Training_AMS_Campinas_May14/CI_ProgrammeTrainingCourseTestingMobileTerminal_es.pdf. [Último acceso: 27 Octubre 2016].
- [3] C. Pascual Viñé, Introducción a la Telemática y a las Redes de Datos, Madrid, Madrid: Dirección de Servicios de Formación de Telefónica de España, 2000.
- [4] Forsk, «Atoll Brochure 3.3 - Forsk,» 5 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.forsk.com/atoll>. [Último acceso: 22 10 2015].
- [5] C. E. Rodríguez A. y M. Arias Olivas, *Simulación y Análisis de una Red LTE en Ambientes Urbanos de la Ciudad de Managua*, Managua: Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.
- [6] D. E. B. Salamea, *Simulación y Análisis de Cobertura para tecnología LTE en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca*, Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca, 2015.
- [7] M. E. Abdelgalil y A. B. Nabi, *LTE Performance and Analysis using Atoll Simulation*, Khartoum: Al-Neelain University, 2014.
- [8] R. B. Shaik y K. Chaitanya, *Simulations of GSM Mobile Networks Planning Using ATOLL Planning Tool*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 2012.
- [9] R. Domínguez González, *Métodos para el aumento de la capacidad UMTS en Atoll*, Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2009.
- [10] A. Carmona Sánchez, *Planificación mediante Atoll de red WIMAX móvil para los centros de la Universidad de Sevilla*, Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2008.
- [11] Departamento de Computación, UNAN-León, «Pénsum Académico de Ingeniería en Telemática,» 18 Junio 2014. [En línea]. Available: <http://www.comp.unanleon.edu.ni/it/pensum.php>. [Último acceso: 29 Octubre 2016].
- [12] J. González, D. Espinoza y A. Martínez, *Ingeniería en Telemática, Plan 2011*, León, Nicaragua: UNAN-León, 2013.

- [13] J. C. Gonzáles Moreno y D. L. Espinoza Hernández, *Microprogramación del componente Tecnologías de Redes Celulares*, León, Nicaragua: UNAN-León, 2013.
- [14] I. N. d. T. y. C. (TELCOR), «RESOLUCION ADMINISTRATIVA No. 389-2014,» *La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua*, pp. 7191-7193, 2 Septiembre 2014.
- [15] E. J. López Díaz, *Análisis de las Estrategias de Gestión del Espectro Radioeléctrico en un Sistema LTE con la herramienta Atoll*, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña., 2012.
- [16] V. Vidojkovic, J. v. d. Tang, A. Leeuwenburgh y A. v. Roermund, *Adaptive Multi-Standard RF Front-Ends*, Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Bussines Media, 2008.
- [17] J. J. Carr, *RF Components and Circuits*, Gran Bretaña, Reino Unido.: Joseph J. Carr and Elsevier Science Ltd., 2002.
- [18] M. M. Figueroa de la Cruz, *Introducción a los sistemas de telefonía celular*, Buenos Aires, Argentina: Hispano Americana S.A. - H.A.S.A., 2008.
- [19] M. Sauter, *From GSM to LTE, An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*, South Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2011.
- [20] A. R. Mishra, *Cellular Technologies for Emerging Markets 2G, 3G, and Beyond*, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 2010.
- [21] B. H. Walke, *Mobile Radio Networks*, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2002.
- [22] S. Kumar Das, *Mobile Handset Design*, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [23] D. Utrilla Salazar, *QoS. en redes móviles de cuarta generación*, Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao, 2014.
- [24] J. Lempiäinen y M. Manninen, *UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management*, New York, United States of America: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [25] Forsk, *User Manual Radio versión 3.2.1*, Blagnac, France: Forsk, 2014.
- [26] X. Ge, Y. Qiu, J. Chen, Huang, Meidong, H. Xu, J. Xu, W. Zhang, Y. Yang, C.-X. Wang y J. Thompson, *Wireless Fractal Cellular Networks*, 2016.
- [27] A. Álvarez Pérez, *Planificación Radioeléctrica con Atoll de una red UMTS para la ciudad de Sevilla.*, Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2007.

- [28] Mpirical Limited, LTE 4G Network Design and Planning Optimization (Student Guide), England: Mpirical Limited, 2013.
- [29] J. Lempiäinen y M. Manninen, Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS, New York, USA: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [30] A. W. Graham, N. C. Kirkman y P. M. Paul, Mobile Radio Networks Design in VHF and UHF Bands, Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2007.
- [31] E. Dahlman, S. Parkvall and S. Johan, 4G LTE-Advanced Pro and The Road to 5G, London, United Kingdom: Academic Press, 2016.
- [32] A. Fernández López, D. González López y A. Rubio Lara, Telefonía Móvil, Transmisión y redes de datos, Huelva, España: Universidad de Huelva, 2002.
- [33] S. K. Siddiki, Roaming in Wireless Networks, New York, USA: McGraw-Hill Companies, Inc., 2006.
- [34] A. R. Mishra, Advanced Network Planning and Optimisation, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2007.
- [35] M. Tolstrup, Indoor Radio Planning: A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [36] Internet Engineering Task Force (IETF), *URI Scheme for Global System for Mobile Communications (GSM) (RFC 5724)*, California, Estados Unidos: UC Berkeley, 2010.
- [37] ETSI, *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05)*, Valbonne, France: ETSI, 1996.
- [38] ETSI, *Railway Telecommunications (RT); GSM-R in support of EC Mandate M/486 EN on Urban Rail*, Valbonne, France: ETSI, 2013.
- [39] C. A. Gavilán Martín, Diseño y simulación de la Red GSM-R de la línea de alta velocidad Sevilla-Córdoba, Sevilla, España: Universidad de Sevilla, 2008.
- [40] 3GPP TS 22.060 V3.5.0 (2000-10), Valbonne, Francia: 3GPP Organizational Partners (ARIB, CWTS, ETSI, T1, TTA, TTC), 2000.
- [41] E. Seurre, P. Savelli y P.-J. Pietri, EDGE for Mobile Internet, United States of America, Boston: ARTECH HOUSE, 2003.
- [42] A. Del Valle Díaz, Diseño, Integración y Optimización de Estaciones Base de Segunda Generación, Sevilla, España: Univesidad de Sevilla, 2011.

- [43] J. Eberspacher, H.-J. Vogel, C. Bettstetter y C. Hartmann, GSM-Architecture, Protocols and Services, Third Edition., Southern Gate, Chichester, West Sussex, United Kingdom.: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [44] C. Kappler, UMTS Networks and Beyond, Noida, India: John Wiley & Sons, Ltd , 2009.
- [45] H. Holma y A. Toskala, HSDPA/HSUPA FOR UMTS, The Atrium, Southern Gate, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [46] H. Holma y T. Antti, WCDMA FOR UMTS 4 ed., The Atrium, England: John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [47] C. Smith y D. Collins, Wireless Networks 3ed., United States of America: McGraw-Hill Education, 2014.
- [48] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld y P. Beming, 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband, second edition., Great Britain, Reino Unido.: Elsevier Ltd., 2008.
- [49] A.-E. M. Taha, N. A. Ali y H. S. Hassanein, LTE, LTE Advanced and WiMAX - Towards IMT-Advanced Networks, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- [50] C. Cox, An Introduction to LTE. LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications., South Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 2012..
- [51] S.-Y. Tang, P. Müller y H. R. Sharif, WiMAX Security and Quality of Service, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 2010.
- [52] P. Xing, L. Yang, C. Quian Li, P. Demestichas y A. Georgakopoulos, *Multi-RAT Network Architecture*, Caussy, France: Wireless World Research Forum, 2013.
- [53] T. Ali-Yahiya, Understanding LTE and its Performance, New York, USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2011.
- [54] J. Treichler, An Introduction to the FDM-TDM Digital Transmultiplexer, United States Of America: Applied Signal Technology, Inc., 2003.
- [55] L. Hanzo, Y. Akhtman y L. Wang, MIMO-OFDM for LTE, Wi-Fi and Wimax, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [56] W. Stallings, Comunicaciones y Redes de Computadores 7ed., Madrid, España: PEARSON EDUCACIÓN, S. A., 2004.
- [57] A. F. Molisch, Wireless Communications, 2nd Edition, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 2011.

- [58] H. Schulze y C. Lüders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA*, Southern Gate, Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- [59] R. Sharma, *Effect of Multiuser Interference on Subscriber Location in CDMA Networks*, Mumbai, India: Mumbai University, 2001.
- [60] R. Ghaffar y R. Knopp, *Fractional Frequency Reuse and Interference Suppression for OFDMA Networks*, Valbonne, France: Institut Mines-Télécom, 2010.
- [61] D. Biliou, C. Bouras, V. Kokkinos, A. Papazois y G. Tseliou, *Optimization of Fractional Frequency Reuse in Long Term Evolution Networks*, Paris, Francia: IEEE, 2012.
- [62] U. I. d. Telecomunicaciones, «Sobre la UIT,» 28 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx>. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].
- [63] ETSI, «ETSI - European Telecommunications Standards Institute,» ETSI, 20 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://www.etsi.org/>. [Último acceso: 30 Octubre 2016].
- [64] IEEE, «IEEE - About IEEE,» IEEE, 28 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.ieee.org/about/index.html>. [Último acceso: 6 Noviembre 2016].
- [65] TELCOR, «TELCOR Ente Regulador,» [En línea]. Available: <http://www.telcor.gov.ni/Default.asp>. [Último acceso: 12 Junio 2016].
- [66] O. Huisman y R. A, *Principles of Geographics Information Systems*, Enschede, The Netherlands: ITC Enschede, 2009.
- [67] Forsk, «Atoll at Telefonica in Latin America,» Forsk, 18 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.forsk.com/press/2016-02-18/atoll-at-telefonica-in-latin-america-681>. [Último acceso: 22 Octubre 2016].
- [68] Blue Marble Geographics, «Global Mapper,» 28 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].
- [69] Forsk, *Atoll 3.1.0 Technical Overview*, Chicago, USA: Forsk, 2011.
- [70] Forsk, *Administrator Manual Version 3.1.0*, Blagnac, France: Forsk, 2011.

Acrónimos

Acrónimo	Significado
1G	Primera Generación
2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Third Generation Partnership Project
4G	Cuarta Generación
5G	Quinta Generación
AFP	Automatic Frequency Planning
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ASN	Access Service Network
AUC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
DCS	Digital Cellular Service
DL	Downlink
DTM	Digital Terrain Model
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
E-GSM	Extended GSM
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
E-UTRA	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFR	Fractional Frequency Reuse
GERAN	GPRS Evolution Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GIS	Geographic Information System
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
GSM-R	GSM Railway
HCS	Hierarchical Cell Structure
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access

Acrónimo	Significado
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
ICIC	Inter-cell Interference Coordination
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IMT	International Mobile Telephone
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunications Union
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
MIMO	Multiple Input Multiple Access
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Message Service
MSC	Mobile Switcher Center
MT	Mobile Terminal
NMT	Nordisk Mobil Telefoni
NSS	Network Subsystem
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDN	Public Data Network
P-GSM	Primary GSM
P-GW	PDN Gateway
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
RAT	Radio Access Technology
RF	Radiofrecuencia
RNC	Radio Network Controller
RNP	Radio Network Planning
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIM	Suscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
SRC	Single Network Controller
TACS	Total Access Communication System
TCH	Traffic Channel
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TELCOR	Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos
TRX	Transceiver
UE	User Equipment
UL	Uplink

Acrónimo	Significado
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitors Location Register
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Anexos

Anexo 1: Cronograma de Actividades

ACTIVIDADES	MESES														
	Ago. 2015	Sep. 2015	Oct. 2015	Nov. 2015	Dic. 2015	Ene. 2016	Feb. 2016	Mar. 2016	Abr. 2016	May. 2016	Jun. 2016	Jul. 2016	Ago. 2016	Sep. 2016	Oct. 2016
Primera Etapa															
Selección del Tema	█														
Documentación		█													
Objetivos			█												
Planteamiento del problema			█												
Justificación				█											
Introducción				█											
Antecedentes			█	█											
Búsqueda de simuladores			█	█											
Segunda Etapa						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Marco Teórico						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Diseño Metodológico						█									
Desarrollo de las prácticas						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Instalación software						█									
Adaptación al entorno						█									
Segunda Generación							█	█							
Tercera Generación									█	█					
Cuarta Generación											█	█			
Práctica de WiMax													█	█	
Tercera Etapa															
Revisión de las prácticas															█
Conclusiones															█

Anexo 2: Instalación de Atoll

Requerimientos

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz.
 - RAM: 1 GB.
- Software:
 - Windows XP o superior.
 - Acces Database Engine Redistributable 2010 o superior.

Instalación

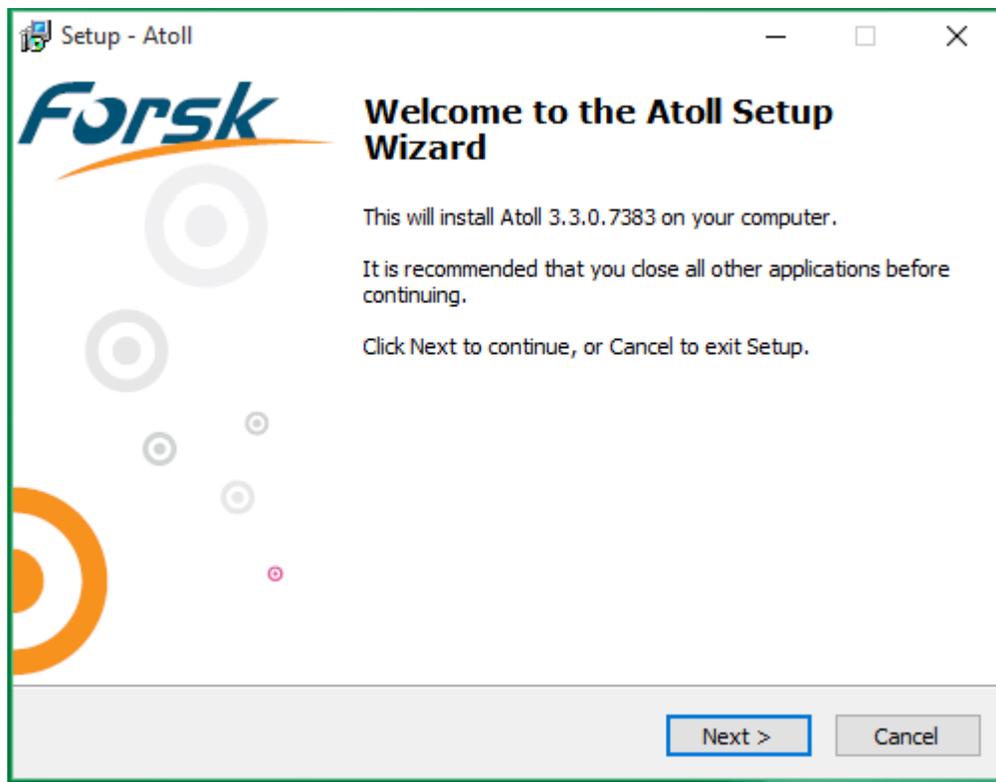
Pasos para instalar Atoll

- 1) Desactive el antivirus hasta el próximo reinicio.
- 2) Descomprima el archivo Forsk.Atoll.v3.3.0.7383.x86.x64 que se encuentra en la carpeta Materiales/Instalación/Atoll

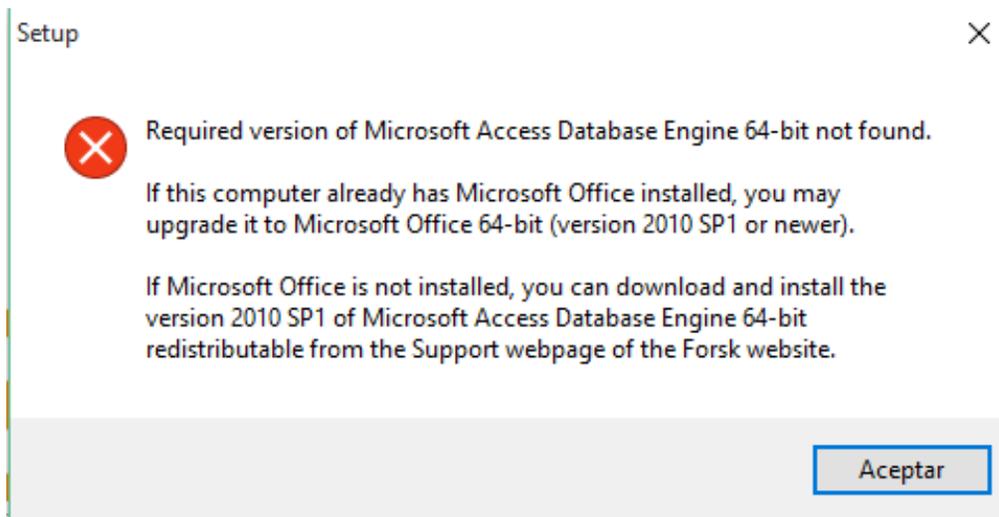
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 Acces Database Engine	2015-10-28 11:31	Carpeta de archivos	
 Forsk.Atoll.v3.3.0.7383.x86.x64	2015-10-07 10:04	Archivo WinRAR	177.253 KB
 instalación	2015-10-28 11:45	Documento de tex...	1 KB

- 3) Ejecute el instalador que más le convenga (32 o 64 bits), desde la carpeta "install".

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 Atoll.Std.win32.3.3.0.7383	2015-05-28 10:08	Aplicación	81.152 KB
 Atoll.Std.x64.3.3.0.7383	2015-05-28 10:08	Aplicación	89.305 KB

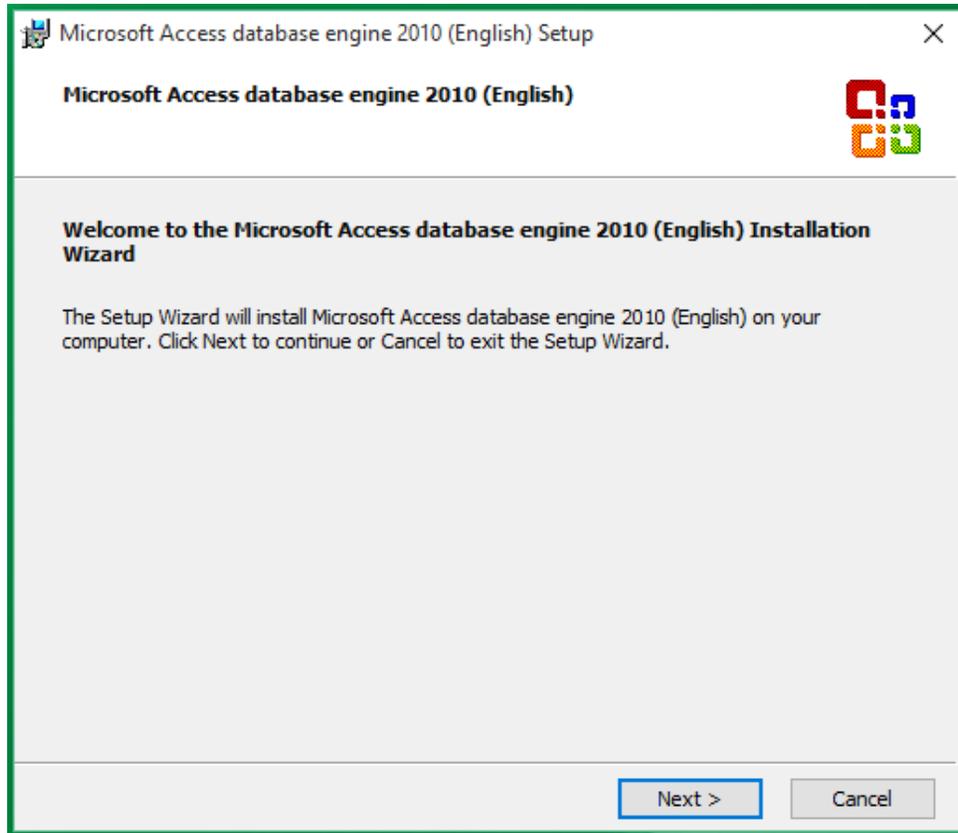


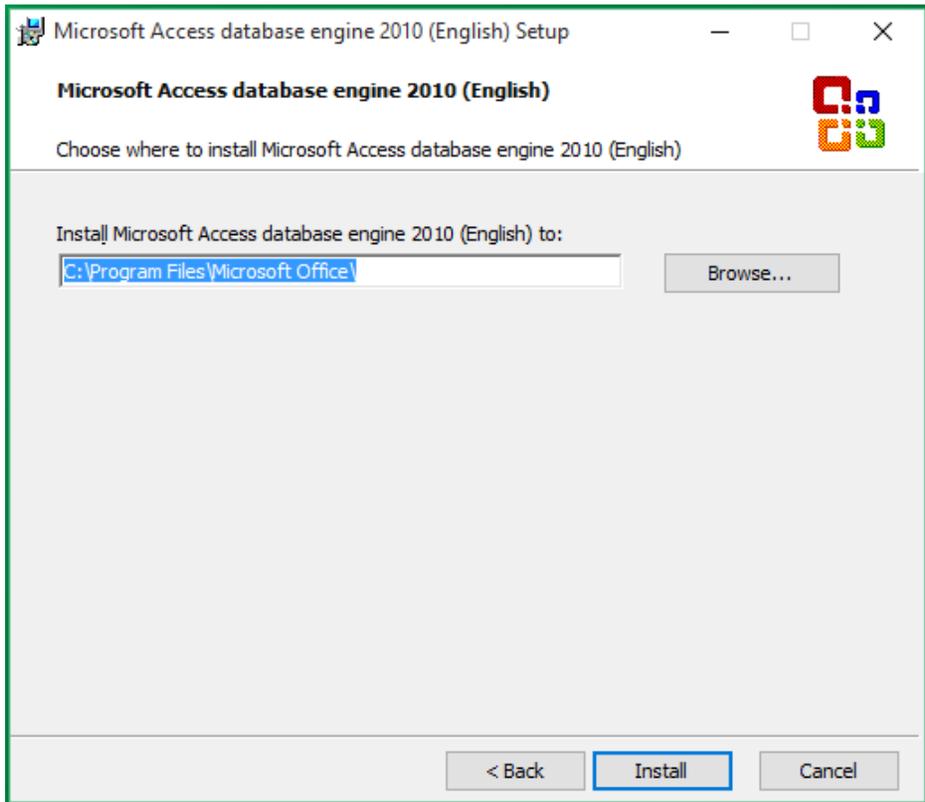
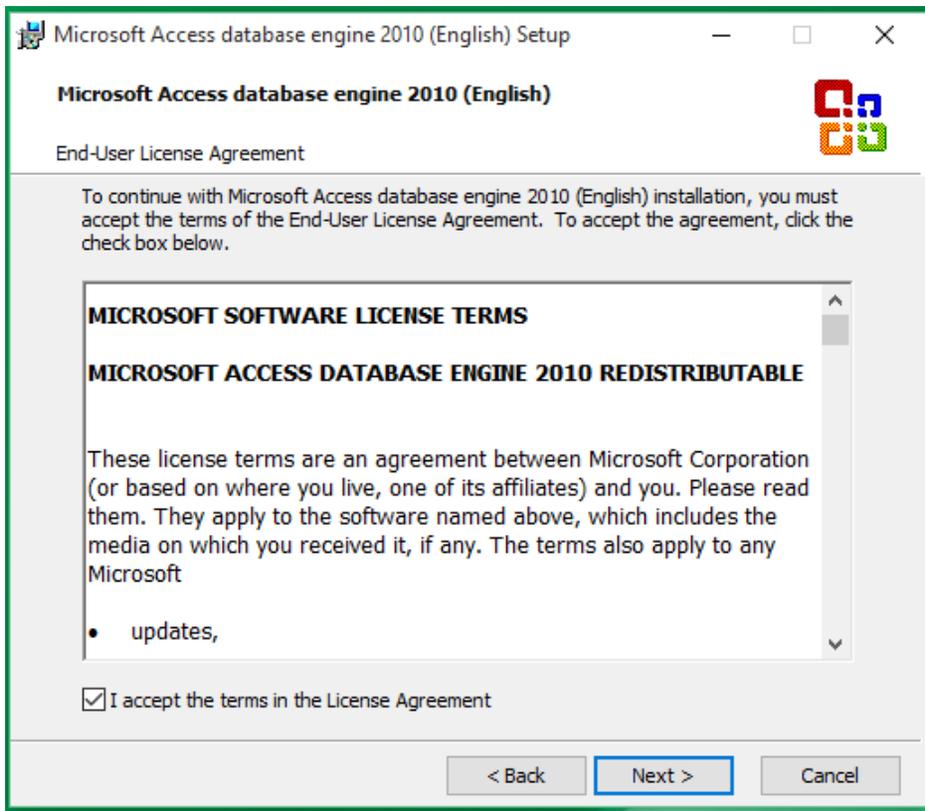
4) Si el instalador no funciona, mostrará un mensaje como este:

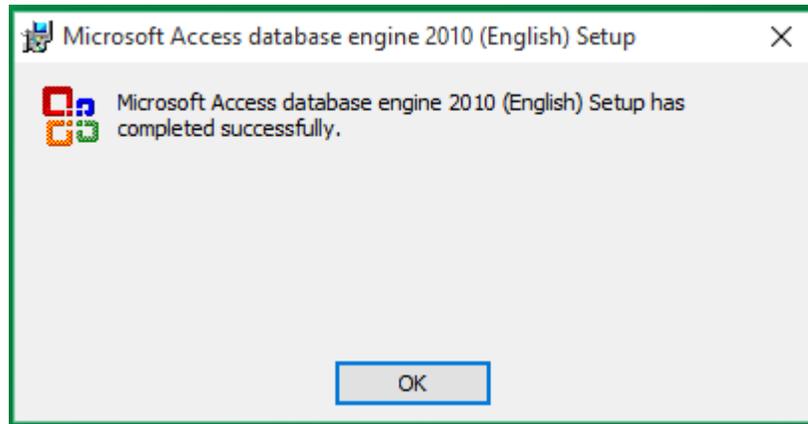


En ese caso, debe instalar Access Database engine redistributable antes de instalar Atoll. Cancele la instalación de Atoll, e instale Access Database engine redistributable 2010, se encuentra en la carpeta "Acces Database Engine". Elija el que más le convenga (32 o 64 bits), e instálolo siguiendo las instrucciones del instalador.

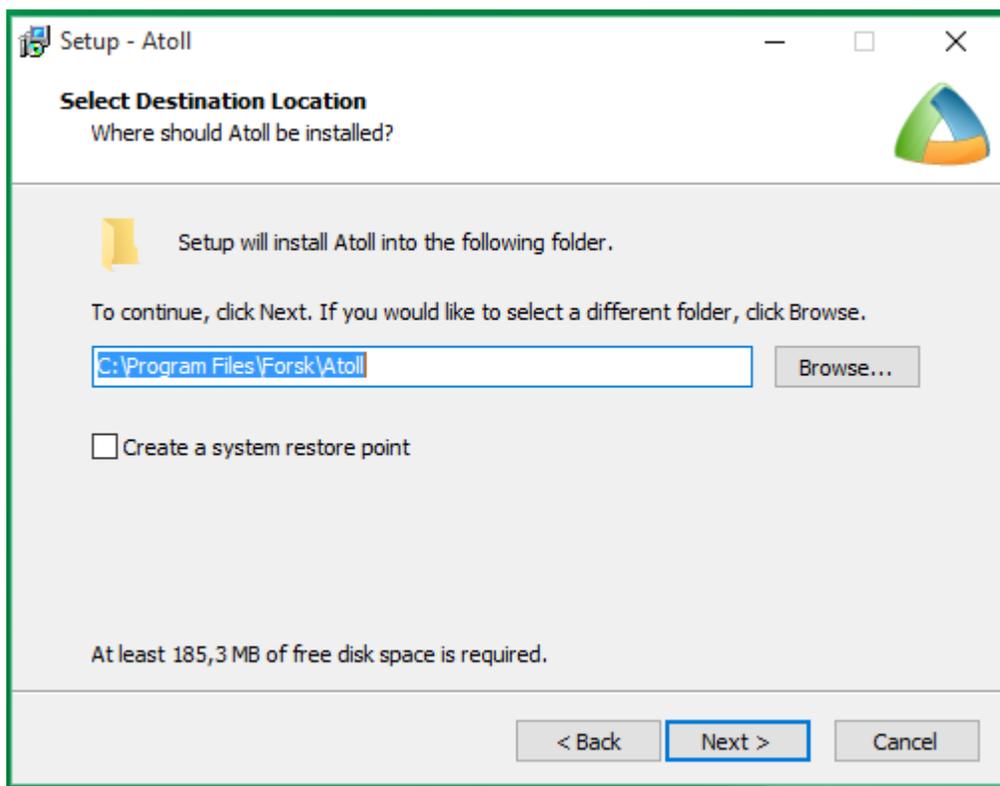
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
 AccessDatabaseEngine	2015-10-14 16:10	Aplicación	25.933 KB
 AccessDatabaseEngine_x64	2015-10-14 16:13	Aplicación	27.961 KB

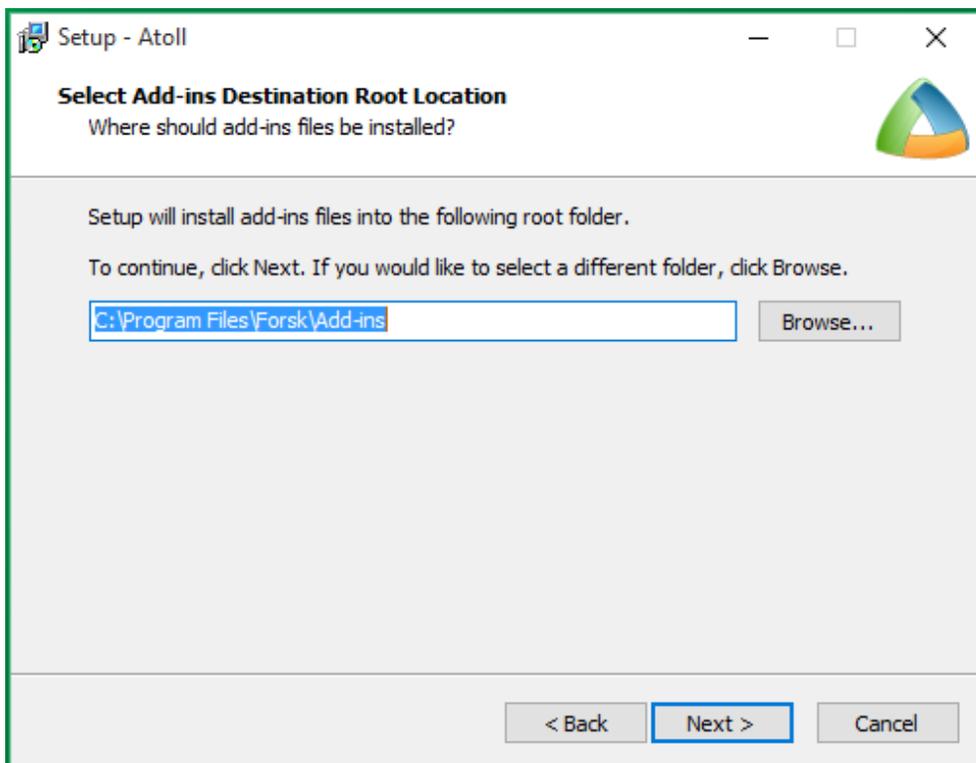
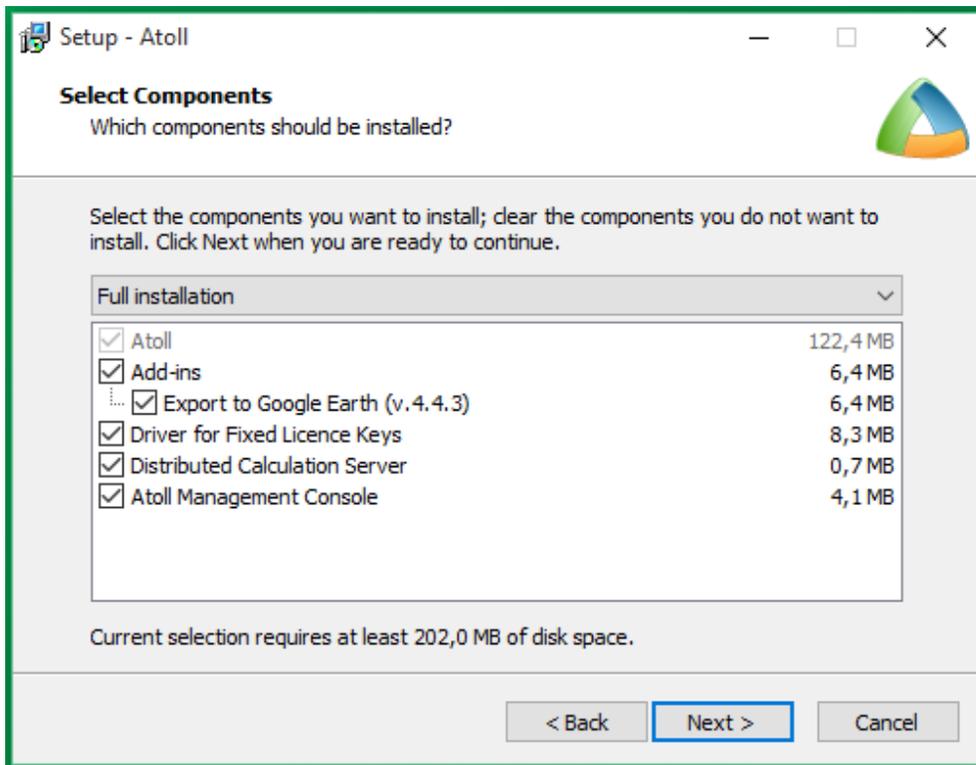


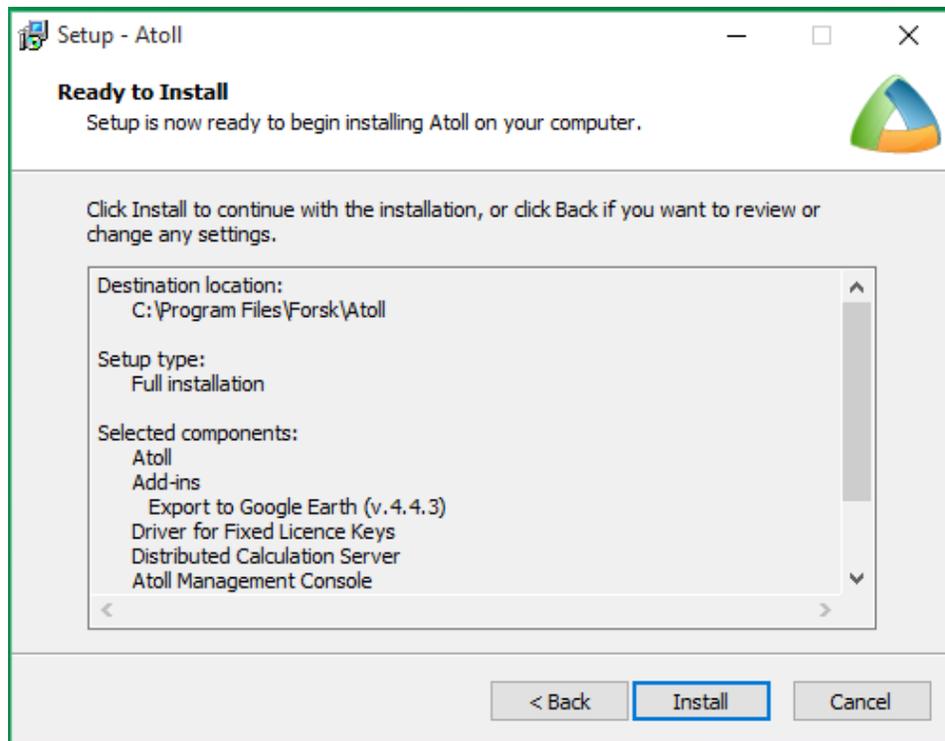
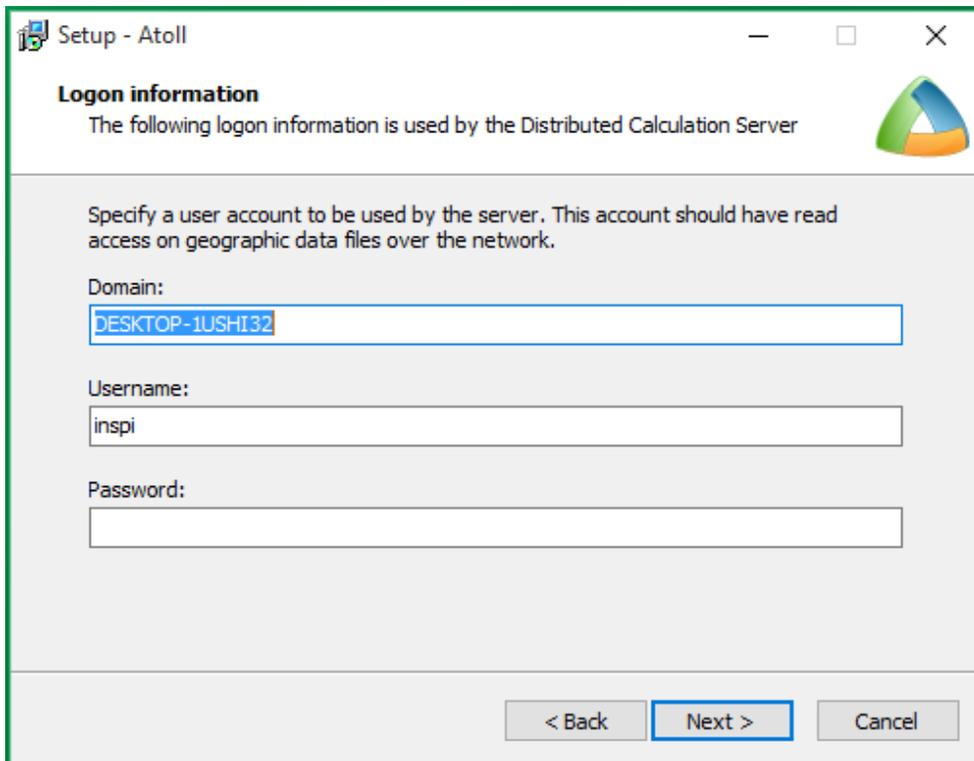




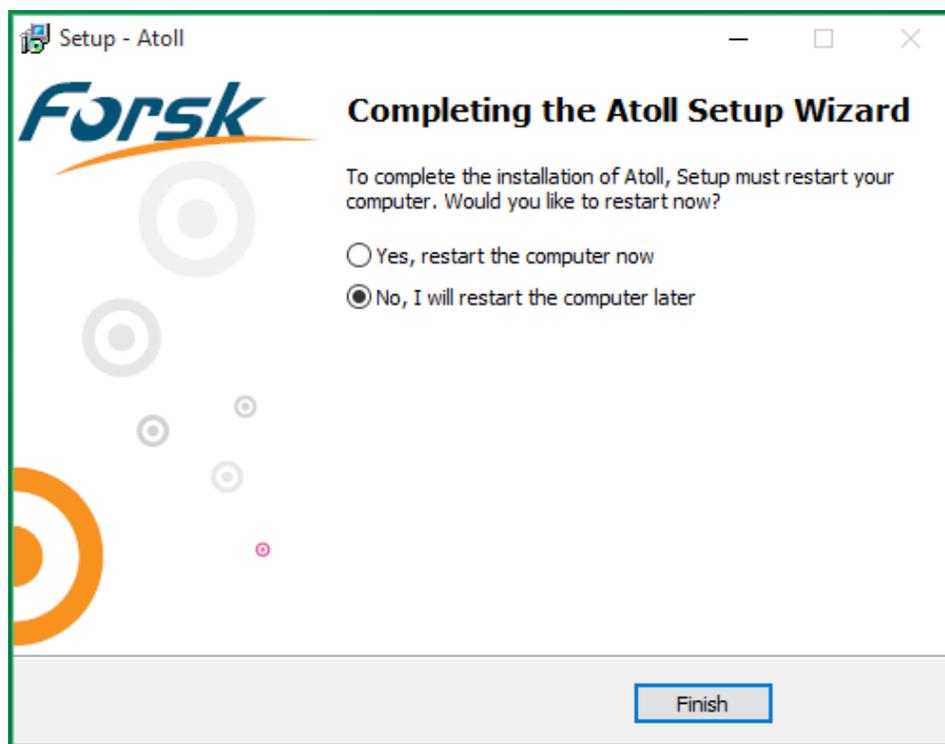
5) Instale Atoll con la configuración por defecto, siguiendo las instrucciones del instalador.







Al terminar la instalación, asegúrese que el programa no iniciará inmediatamente.

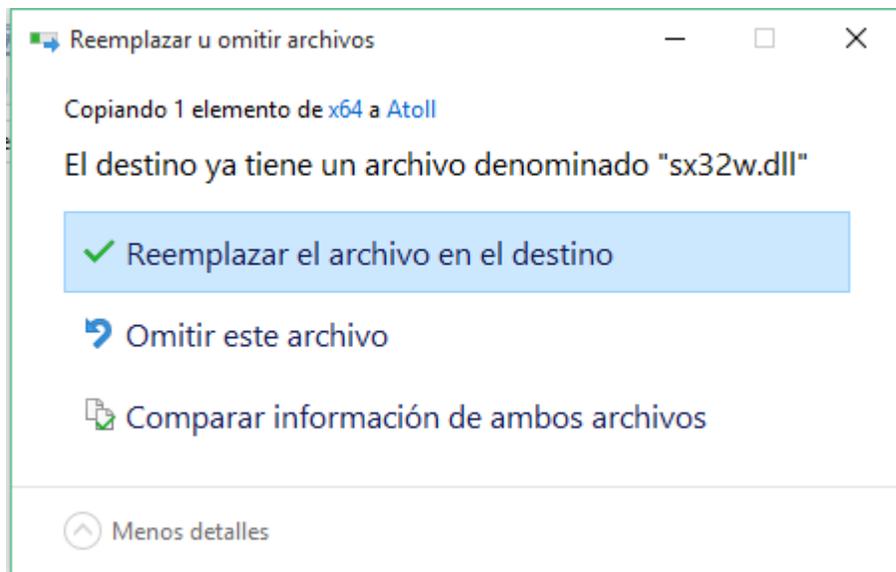


6) Copiar el archivo sx32w.dll de la carpeta "patched", desde la subcarpeta que corresponda a la compilación de Atoll que instaló (32 o 64 bits).

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
x64	2015-05-28 10:48	Carpeta de archivos	
x86	2015-05-28 10:49	Carpeta de archivos	

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
sx32w.dll	2015-05-28 10:12	Extensión de la apl...	616 KB

Este archivo sx32w.dll debe pegarlo en la carpeta en donde ha realizado la instalación de Atoll, por lo general, se encuentra en una ubicación como ésta: C:\Program Files\Forsk\Atoll



7) Añadir la carpeta como excepción al antivirus.

Antes de activar el antivirus de nuevo, añade como excepción, la carpeta:

C:\Program Files\Forsk

8) Reiniciar el ordenador y ¡LISTO!.

Ahora puedes iniciar Atoll, desde el ícono del escritorio.



Anexo 3: Instalación de Global Mapper

Requerimientos

- Hardware:
 - Procesador 32 o 64 bits, 1.6 GHz.
 - RAM: 1 GB.
- Software:
 - Windows XP o superior.
 - Acces Database Engine Redistributable 2010 o superior.

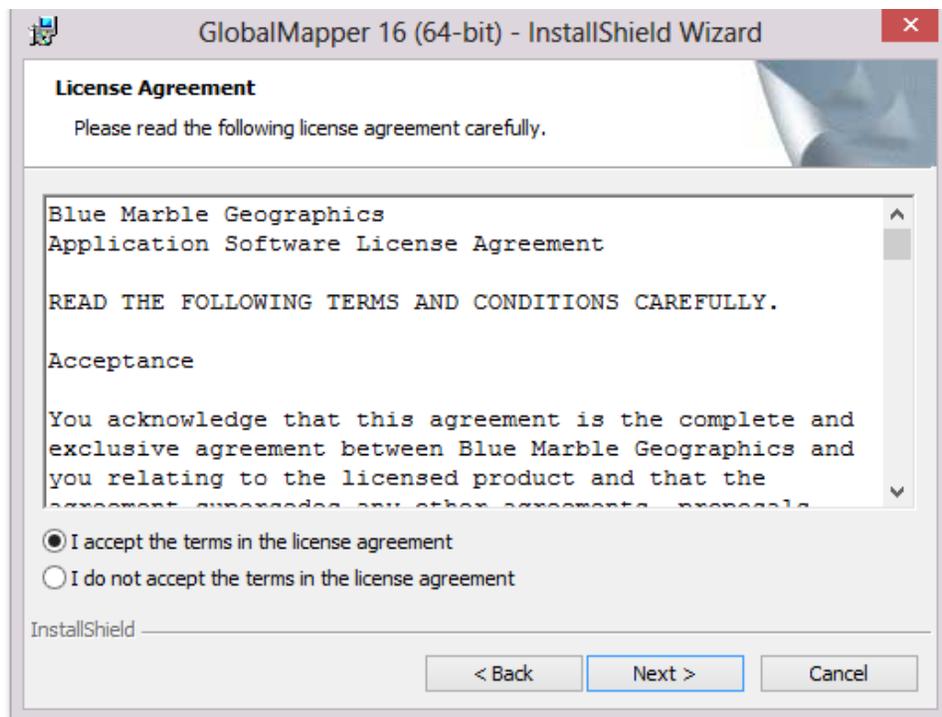
Instalación:

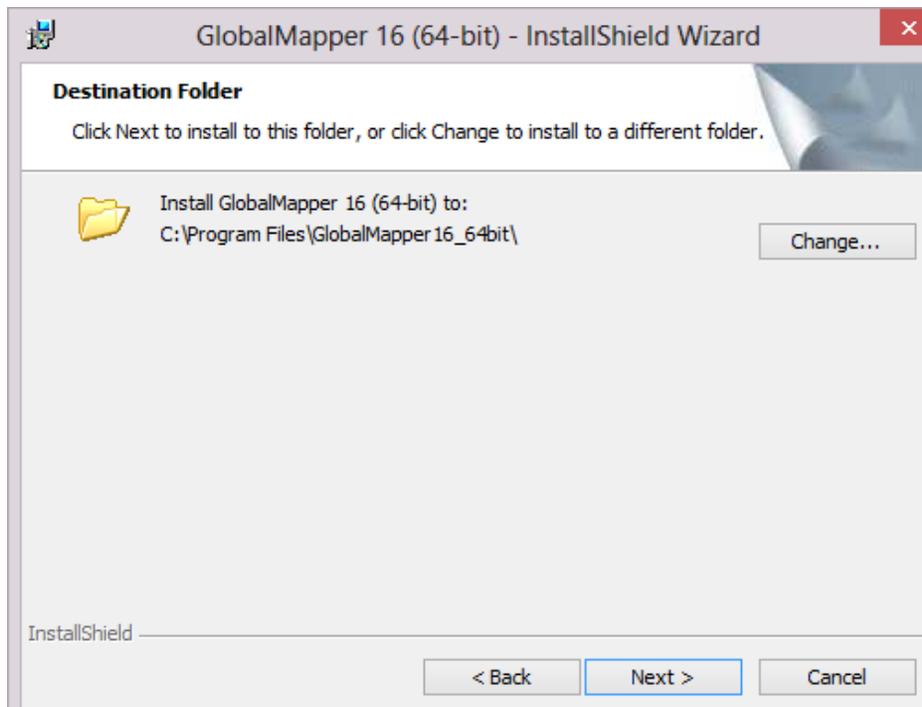
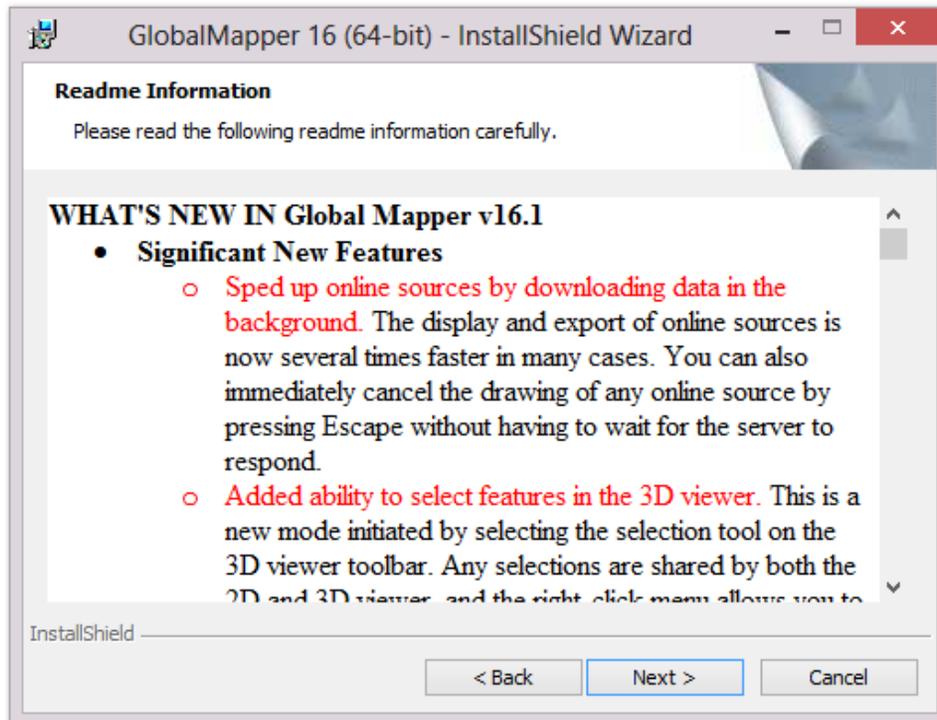
1) Descomprima el archivo Global_Mapper_16.1_xxbit.rar que más le convenga. (32 o 64 bits).

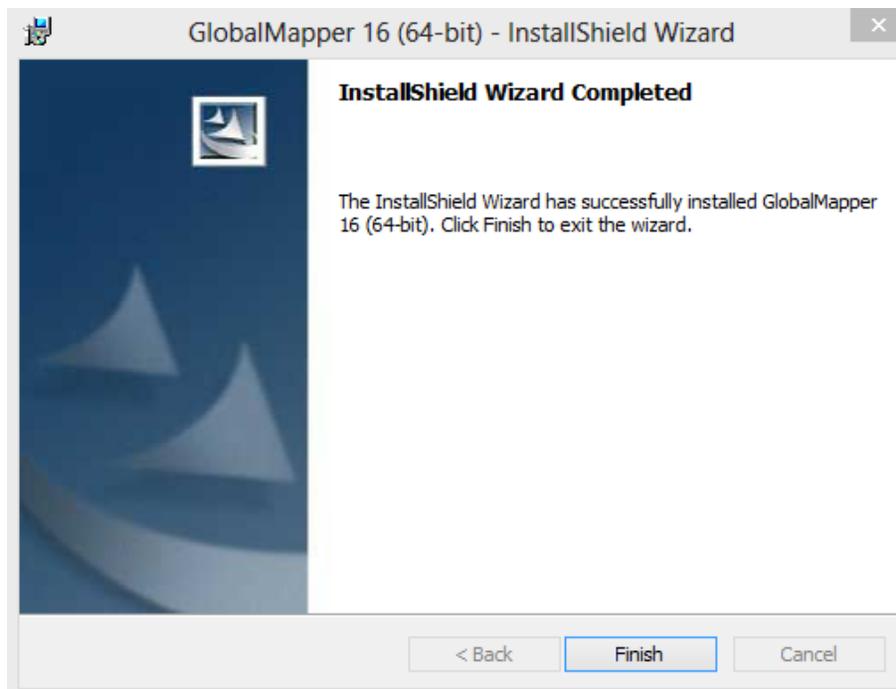
 Global_Mapper_16.1_x32	02/11/2015 17:33	Archivo WinRAR	111,388 KB
 Global_Mapper_16.1_x64	02/11/2015 17:34	Archivo WinRAR	100,303 KB
 Instalación	02/11/2015 17:36	Documento de tex...	0 KB

2) Ejecute global_mapper_16_1_setup_xxbit.exe, e instálelo siguiendo las instrucciones del instalador.

 global_mapper_16_1_setup_64bit	06/03/2015 21:57	Aplicación	100,116 KB
 Patch-REPT	24/12/2014 13:06	Aplicación	809 KB







Después de presionar el botón Finish, aparecerá una ventana que pide registrar el programa. Haga clic en "Continue Without Registering". Luego cierre el programa.



Copie el archivo Patch-REPT.exe en la carpeta de instalación. Generalmente se encuentra en: C:\Program Files\GlobalMapper16_xxbit

global_mapper_16_1_setup_64bit	06/03/2015 21:57	Aplicación	100,116 KB
Patch-REPT	24/12/2014 13:06	Aplicación	809 KB

Ejecute Patch-REPT.exe desde la carpeta de Global Mapper.

NCSUtil_v33.dll	05/02/2015 17:11	Extensión de la apl...	202 KB
oci.dll	05/02/2015 16:53	Extensión de la apl...	667 KB
OVR_Extension.gmx	19/02/2015 20:23	Archivo GMX	57 KB
Patch-REPT	24/12/2014 13:06	Aplicación	809 KB
QtCore4_bmg.dll	05/02/2015 17:09	Extensión de la apl...	2,932 KB
QtGui4_bmg.dll	05/02/2015 17:09	Extensión de la apl...	9,506 KB
QuickPDFDLL.dll	05/02/2015 17:10	Extensión de la apl...	7,636 KB

Haga clic en Patch y espere que imprima:

PATCHING DONE---



Puede abrir el programa desde el ícono en el escritorio.

