

PARTE III: PLANIFICACIÓN RADIOELÉCTRICA

9 HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN Y SIMULACIÓN

La planificación de redes UMTS, dada su gran complejidad (interdependencia capacidad de red-cobertura), requiere herramientas de simulación y análisis. Hoy en día estas herramientas juegan un papel fundamental en la planificación de redes radioeléctricas, ya que con ellas los planificadores de red consiguen encontrar con mayor rapidez y con menor esfuerzo una solución óptima que combine los requisitos de calidad, capacidad y cobertura.

El desarrollo vertiginoso actual de las tecnologías de comunicación así como la competencia creciente en el sector, ha permitido el avance de herramientas, que en definitiva permitan abaratar costes de diseño así como mejorar la calidad y reducir el *time-to-market* de estos productos y tecnologías. Esta necesidad se comprende aun más si pensamos en la complejidad actual de las redes de telecomunicación, donde los resultados analíticos no son viables o bien sólo sirven para dar una idea aproximada como punto de partida.

Entre estas herramientas, juegan un papel fundamental los simuladores, que nos permiten realizar pruebas a distintos niveles en modelos simplificados de la realidad y reducir así los tiempos de desarrollo y aumentar la fiabilidad de los resultados. Por no hablar de lo complicado y costoso que resulta en ocasiones probar nuevos protocolos o productos en sistemas reales y los problemas que causaría un mal funcionamiento en un sistema real.

Por otro lado, los objetivos de nuestra red UMTS son, proporcionar un amplio rango de servicios con una calidad suficiente al máximo número de usuarios y con el mínimo de costes de red. Estos puntos dependen de una óptima configuración de los protocolos y algoritmos. Y la complejidad de la red UMTS implica que una optimización eficiente difícilmente puede ser realizada en una red real en funcionamiento.

Las herramientas de planificación y simulación serán las encargadas de realizar este trabajo, analizando los distintos escenarios y tipos de tráfico, dejando la red real para futuros procesos de mejora y optimización.

9.1 VENTAJAS DE LOS SIMULADORES

El uso de herramientas de simulación permiten un aumento de la productividad en la planificación y puesta en marcha de las redes, debido a que aceleran los tiempos de desarrollo, a la vez que reducen costes, al proporcionar a los planificadores herramientas de análisis y modelos para que se centren en partes del proyecto más específicas.

También proporcionan una mejora substancial en la calidad del producto, ya que permiten probar el servicio ofrecido por la red en cuestión en escenarios realistas antes de pasar a implementar ésta físicamente.

Permiten, además, estudiar sistemas complejos, en los cuales no es posible obtener resultados analíticos o bien éstos son sólo una referencia debido a las simplificaciones efectuadas.

9.2 OBJETIVOS DE LOS SIMULADORES

Los objetivos que se pretenden conseguir con el uso de estas herramientas de simulación son:

- Simplificación del proceso de planificación y desarrollo de una red UMTS: herramientas gráficas, protocolos predefinidos, herramientas de análisis, depuradores...
- Modelado conforme a los parámetros a medir
- Escalabilidad y configurabilidad.
- Capacidad de diferenciar cuales son las simplificaciones del modelo y su alcance.
- Posibilidad de definir distintos escenarios.
- Una arquitectura abierta, que permita el desarrollo de protocolos propios o especificaciones particulares.
- Velocidad de simulación y rendimiento.

9.3 HERRAMIENTA UTILIZADA: ATOLL

Existen muy diversos tipos de herramientas de simulación y planificación debido en gran parte a la complejidad de las distintas tecnologías, a los diferentes parámetros a medir y a su naturaleza. En el mercado de las telecomunicaciones hay una gran variedad de fabricantes y organizaciones que desarrollan distintos productos en función de sus intereses.

En la realización de este proyecto vamos a usar una de esas herramientas de planificación, Atoll, desarrollada por la empresa Forsk.

Atoll es una aplicación con entorno gráfico para la planificación de redes radioeléctricas que soporta distintas tecnologías: GSM/TDMA, GPRS/EDGE, W-CDMA/UMTS, CDMAONE/CDMA2000, Enlaces de microondas...

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

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

Atoll permite una amplia variedad de escenarios de implantación. Desde un único servidor, hasta configuraciones que usen computación paralela y distribuida.

Las ventajas que se obtienen de esta aplicación se basan fundamentalmente en tres aspectos:

- La posibilidad de disponer de bases de datos topográficos con gran resolución y de acceder a ellos con agilidad para extraer perfiles o características del terreno que se utilizarán para realizar los cálculos de propagación.
- La posibilidad de emplear métodos de predicción de la propagación radioeléctrica mucho más elaborados, que emplean gran número de datos del terreno y con cálculos laboriosos que resultaría imposible realizar manualmente.
- La disponibilidad de bases de datos de equipos, con todos sus parámetros, y de instalaciones ya existentes o planificadas. De esta forma puede accederse de forma ágil a todos sus parámetros a la hora de realizar cálculos de compatibilidad radioeléctrica.

La facilidad con que se realizan los cálculos permite también un mayor abanico de posibilidades a la hora de optimizar las instalaciones. Es muy fácil con la ayuda de herramientas informáticas analizar y comparar diferentes posibilidades de emplazamientos, alturas de antena, potencia de los equipos, etc.

Hoy en día no se concibe la realización manual de todos los cálculos necesarios para la planificación radioeléctrica en el entorno profesional, salvo quizás en casos muy simplificados.

Como toda herramienta de planificación radio, Atoll se basa en la utilización de mapas digitales del terreno. El programa permite realizar diferentes tipos de cálculo, en función de los módulos que se encuentren instalados. Los cálculos realizados en el programa se organizan en “proyectos”. En general, en cualquier proyecto pueden realizarse cálculos de propagación, los cuales se utilizan para estimar coberturas y analizar interferencias. En determinados tipos de proyectos pueden realizarse otros cálculos o simulaciones adicionales, que permiten tener en cuenta aspectos relacionados con el tráfico de la red.

Atoll está formado por un módulo principal al que puedes añadir módulos como el módulo UMTS (permitiendo proyectos CDMA/CDMA 2000) específico para el análisis y la planificación de redes W-CDMA/UMTS; el módulo de Medidas que permite importar y gestionar medidas concretas de CW o datos de test de trayectos móviles; el módulo de Planificación automática de frecuencias para la optimización de planes de frecuencia GSM/TDMA y el módulo de Planificación de Microondas. Este módulo permite al usuario planificar y analizar enlaces de microondas.

Resumiendo lo que hemos comentado sobre Atoll, sus principales características son las siguientes:

- 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. Soporta tecnologías GSM/TDMA, GPRSEDGE, CDMA IS-95, W-CDMA / UMTS, CDMA 2000. Permite planificación de redes de tecnologías híbridas (GSM/UMTS, GSM/GPRS, CDMA/CDMA 2000...).
- 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. Permite la integración de módulos propietarios (modelos de propagación y AFP) gracias a un conjunto de interfaces de programación (API). También permite la integración de macros.
- Cálculos distribuidos y paralelos: Atoll permite el reparto de la computación entre distintas estaciones de trabajo y soporta cálculos en paralelo en servidores multiprocesador, reduciendo significativamente los tiempos de simulación y de predicción, sacando el máximo partido del hardware disponible.
- GIS de última generación: Atoll soporta datos geográficos multiformato 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, incluyendo las de los estudios de ingeniería y predicción. Incluye editor de raster y vectorial.

10 PLANIFICACIÓN RADIOELÉCTRICA CON ATOLL

10.1 PROYECTOS UMTS

Como hemos indicado en el apartado anterior, Atoll permite el diseño radioeléctrico de redes UMTS. Para el modelado de estas redes se utiliza la plantilla UMTS WCDMA. Para esta tecnología, Atoll es capaz de predecir coberturas radio por servicio, evaluando la capacidad de la red, generando listas de células vecinas, planificando códigos de scrambling y planificando la coexistencia entre redes UMTS y redes de cualquier otra tecnología (GSM/GPRS/EGPRS, cdmaOne, CDMA 2000 1xRTT, CDMA2000 1xEV-DO).

En Atoll, el modelado de una red UMTS, está basado en un simulador de Monte Carlo. En este sentido, a partir de las distribuciones de usuarios correspondientes a los mapas de tráfico, el motor estadístico de Atoll genera una población realista de usuarios sobre el mapa del terreno, y para cada usuario el simulador ejecuta un algoritmo de control de potencia, tanto para el enlace ascendente (UL) como para el descendente (DL). El objetivo de este algoritmo de control de potencia es minimizar la interferencia y maximizar la capacidad de la red. Este proceso recibe el nombre de simulación, y genera una instantánea de la red UMTS. El resultado de una simulación es una distribución de usuarios con diferentes parámetros de red: evaluación de la interferencia,

estado de cada móvil, potencias transmitidas en cada enlace, factor de carga para cada célula, etc.

Los estudios de cobertura (que en Atoll se denominan predicciones) toman como punto de partida los resultados de las simulaciones, que determinan un nivel de interferencia sobre la red. A través de las predicciones se puede estudiar el nivel de la señal piloto recibida en cada punto y correspondiente a cada célula, las zonas de servicio para el UL y DL, el estado de handover, o la interferencia total, entre otros.

Otro aspecto que conviene aclarar cuando se utiliza la plantilla UMTS WCDMA, es que al ser UMTS un sistema limitado por interferencia, el concepto de célula no coincide estrictamente con el que se emplea en otros estándares como GSM/GPRS. En Atoll-UMTS, por célula se entiende un par Transmitter-Carrier (Estación-Portadora). Dada la técnica de acceso al medio, una misma portadora puede ser utilizada por distintas estaciones, sin que la calidad del servicio se vea afectada, ya que los códigos CDMA permiten que la misma frecuencia sea compartida en células contiguas.

10.2 GESTIÓN DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Atoll permite gestionar varios tipos de datos geográficos: DTM (Digital Terrain Model), clutter classes (uso del terreno), clutter heights (alturas, sobre el DTM), imágenes escaneadas, datos vectoriales, datos de población, datos genéricos y además soporta varios formatos de ficheros con relación a estos tipos de datos (BIL, TIFF, BMP, SHP, MIF/MID, IST, etc.).

El primer paso a realizar es definir el sistema de coordenadas geográficas e importar los datos geográficos (DTM, clutter class y clutter heights, imágenes escaneadas, datos vectoriales, datos de población). En Atoll esto se lleva a cabo mediante un procedimiento rápido y sencillo. Además Atoll también permite crear nuestro propio mapa de uso del terreno, clutter class, gracias a su editor cartográfico. Atoll sitúa los mapas que hayamos importado, DTM, clutter class y clutter heights, o los mapas de tráfico, en sus respectivas carpetas dentro de una pestaña denominada GEO y crea distintas carpetas para cada dato vectorial o imagen escaneada que importe.

Una vez que los mapas están importados y se encuentran en sus carpetas respectivas dentro de la pestaña Geo de Atoll podemos gestionarlos fácilmente.

Atoll, proporciona, además, algunas características para el tratamiento de datos con prioridad como la gestión multi-capa o multi-resolución.

Además también hay disponibles algunas herramientas de edición para objetos vectoriales y raster, y todos los objetos de la pestaña Geo pueden exportarse a ficheros externos, pudiéndose también exportar los mapas como imágenes a ficheros externos o a otras aplicaciones.

Tanto los mapas Ortho (imágenes) que vamos a usar en este proyecto como los mapas vectoriales nos los ha proporcionado la Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía, a través del Instituto de Cartografía de Andalucía.

Nos suministraron ortofotografías digitales en color de las provincias de Córdoba y Sevilla realizadas en las fechas junio-octubre de 2004, y mapas vectoriales de ambas provincias actualizados.

Las ortofotografías digitales proporcionadas por el Instituto de Cartografía de Andalucía están en formato MrSid, un estándar abierto de compresión de imágenes raster comercializado por la empresa Lizardtech [25], que no es soportado por Atoll. Por tanto, antes de poder usar estos mapas tuvimos que cambiarlos de formato. Los archivos MrSid están formados por dos ficheros, uno .sid, que es la imagen, y otro .sdw, que incorpora los datos de georeferenciación. Para transformar las imágenes MrSid a un formato soportado por Atoll, utilizamos el programa IrfanView (puede descargarse de manera gratuita de su página web [24]). El proceso consiste en abrir las imágenes .sid con el programa IrfanView y guardarlas de nuevo en el formato que nos interese. En nuestro caso elegimos pasarlas a formato TIFF. Una vez hecho esto hay que cambiarle la extensión a los archivos .sdw y pasarlos a .tfw.

Lo primero que tenemos que hacer para empezar a planificar nuestra red UMTS con Atoll es crear un proyecto de tipo UMTS (File/New), seleccionando en la ventana desplegada la plantilla UMTS WCDMA. A continuación importamos los mapas que vamos a usar en nuestro proyecto.

Vamos a importar el mapa DTM (Digital Terrain Model) de España, que describe la elevación del terreno. La información contenida en estos mapas es tenida en cuenta en los cálculos por los modelos de propagación usados en Atoll. El mapa que nosotros vamos a usar es el representado en la figura 3-1. Hemos señalado con una línea azul el tramo de alta velocidad Sevilla-Córdoba.

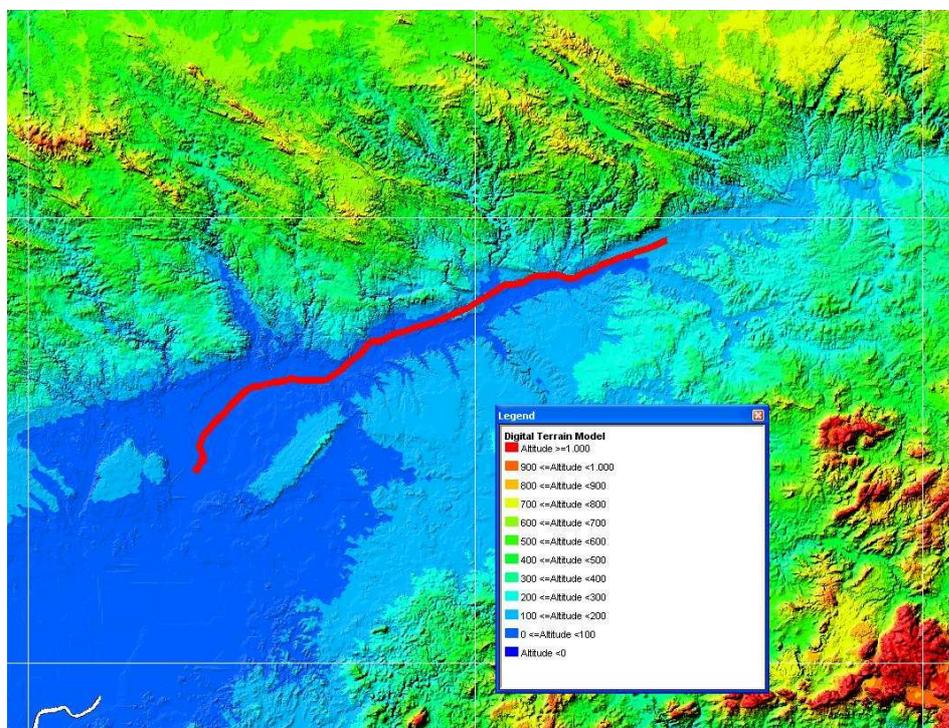


Figura 3-1: mapa DTM

A continuación importaremos mapas vectoriales, que pueden representar polígonos (regiones,...) o líneas (carreteras, costas, ríos, líneas de ferrocarril,...) o puntos (localizaciones importantes,...) y que sólo son usados para facilitar la visualización y no tienen efecto computacional. El mapa de la zona que vamos a usar en nuestro proyecto es el representado en la figura 3-2 y en él hemos querido señalar con una línea azul la vía del AVE Sevilla- Córdoba.

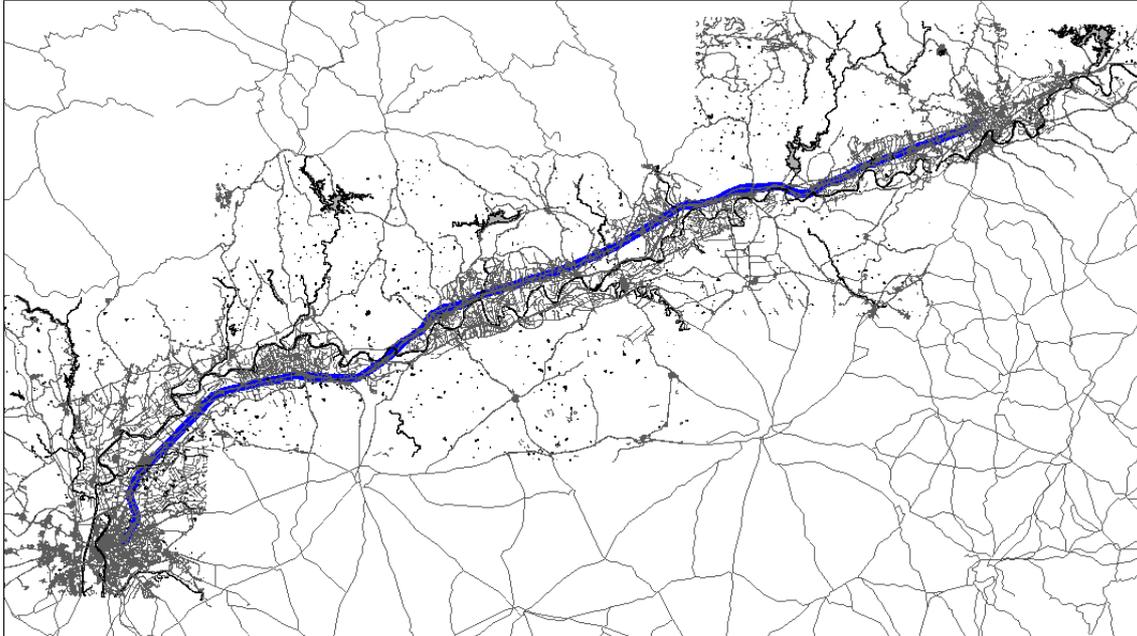


Figura 3-2: mapa vectorial

Los mapas del tipo scanned images, ortofotografías, no son más que una foto aérea de la zona de trabajo, y que no es usada a efectos computacionales. Dada la envergadura de nuestro trazado y para que pueda apreciarse bien la ortofoto digital vamos a representar en las figuras 3-3 y 3-4 dos zonas a modo de ejemplo, las zonas de Sevilla y Córdoba donde se encuentran las estaciones de tren del AVE.



Figura 3-3: Ortofoto digital zona estación Sevilla



Figura 3-4: Ortofoto digital zona estación Córdoba

Para facilitar nuestro trabajo a la hora de crear los mapas del tipo clutter classes y de tráfico, dada la amplia extensión de terreno que abarca nuestro proyecto, y para evitar que las simulaciones generen usuarios fuera de la zona de interés, hemos definido una zona de trabajo dentro de la pestaña Geo, utilizando el editor cartográfico de Atoll. En las figuras 3-5, 3-6, 3-7, hemos mostrado algunas zonas de esta Computation Zone para que se pueda observar con claridad.



Figura 3-5: Computation Zone área Sevilla



Figura 3-6: Computation Zone trazado AVE



Figura 3-7: Computation Zone área Córdoba

El mapa de tipo clutter classes, vamos a crearlo manualmente usando el editor cartográfico de Atoll. El mapa clutter es el mapa de usos del terreno y en él, a cada tipo de terreno le corresponde un color. En la figura 3-8 se puede apreciar una parte del mapa clutter que hemos creado. Se han desactivado los mapas orto para que se pueda apreciar con claridad el mapa clutter.

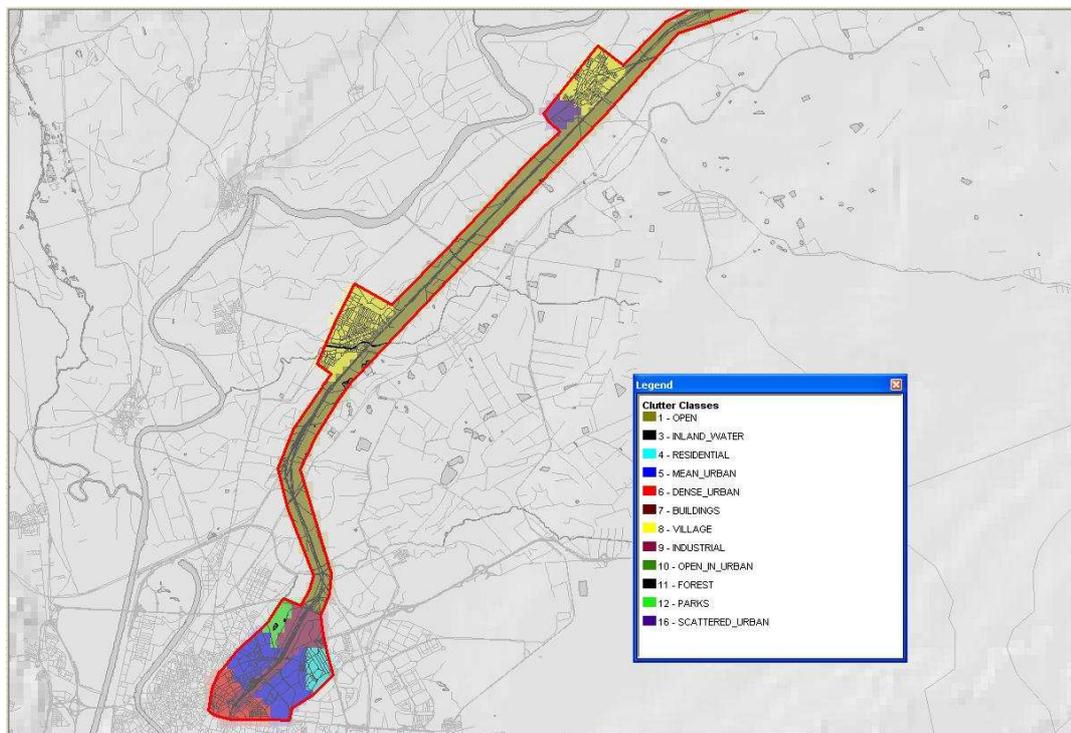


Figura 3-8: mapa clutter

En la leyenda del mapa podemos observar las distintas zonas que se han creado.

Las capas de todos los mapas se superponen unas a otras. Se pueden cambiar de orden moviéndolas con el ratón para que casi todas sean visibles.

10.3 GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE TRÁFICO

Como hemos indicado anteriormente, en Atoll, el modelado de la red UMTS está basado en un simulador de Monte Carlo. Atoll genera una distribución realista de usuarios, que usa como entrada para el algoritmo de control de potencia. Para la creación de esta distribución de usuarios, Atoll precisa de la definición de modelos de servicios y usuarios, y de mapas de tráfico.

Los servicios y usuarios se modelan en Atoll a través de diferentes tablas que proporcionan la siguiente información:

- Los terminales compatibles con nuestra red
- Los tipos de movilidad
- Los servicios soportados en nuestra red
- Los perfiles de usuarios, que detallan, para cada tipo de abonado, las estadísticas de llamadas realizadas por clase de servicio y los terminales utilizados.
- Los entornos, que establecen zonas de tráfico caracterizadas por una densidad de abonados por cada perfil de usuario, con su correspondiente movilidad.

Los mapas de tráfico que se pueden definir en Atoll son:

- Traffic Raster Map based on environments (con información del entorno)
- Traffic Vector Map based on User Profiles (basados en perfiles de usuario)
- Live Traffic Data

Los mapas con información del entorno, también conocidos como Raster Maps, definen zonas poligonales de tal forma que cada píxel perteneciente al interior de un polígono se corresponde con un determinado entorno.

Los mapas basados en perfiles de usuario, conocidos también como Vector Maps, definen diferentes líneas o polígonos y en cada una especifican un perfil de usuario junto con uno o varios tipos de movilidad y densidad asociados.

En la figura 3-9 vemos los parámetros que hemos definido en este proyecto, tal y como aparecen en Atoll: terminales, tipos de movilidad, servicios, perfiles de usuarios y entornos.

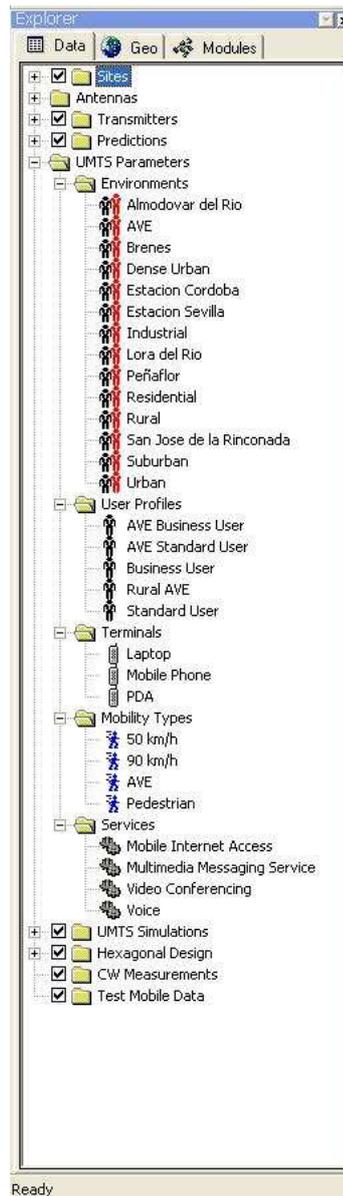


Figura 3-9: UMTS Parameters

10.3.1 TERMINALES

Los tipos de terminales que vamos a usar son: Laptop, Mobile Phone y PDA. Sus características son las que tiene Atoll por defecto. No hemos creído conveniente cambiarlas ya que son las típicas de los terminales que hay actualmente en el mercado. Hemos creado el terminal Laptop para utilizarlo en el perfil de usuarios business en el AVE, y darle el mayor realismo posible ya que es el tipo de terminal usado por las personas de negocio en estos viajes. Le hemos puesto las mismas características que el terminal PDA, ya que las características de los terminales laptop son más adecuadas para proyectos UMTS HSDPA, y éste no es el alcance de nuestro proyecto. En la figura 3-10 vemos como se representan en Atoll las características de los terminales, en concreto del Mobile Phone.



Figura 3-10: Mobile Phone Properties

En la tabla 3-1 vemos las características de todos los terminales:

	Mobile Phone	PDA	Laptop
Min. Power (dBm)	-50	-50	-50
Max. Power (dBm)	21	25	25
Gain (dBm)	0	0	0
Losses (dBm)	0	0	0
Noise Figure (dBm)	8	7	7
Active Set Size	3	1	1
DL Rake Factor	1	1	1

Tabla 3-1: Características de los terminales

10.3.2 TIPOS DE MOVILIDAD

Los tipos de movilidad que usaremos son las que tiene por defecto Atoll más la nueva movilidad que hemos creado para los usuarios del AVE. En la tabla 3-2 vemos las características de éstas:

	Pedestrian	50 Km/h	90 Km/h	AVE
Ec/Io Threshold	-14 dB	-14 dB	-14 dB	-14 dB

Tabla 3-2: Características de los tipos de movilidad

La relación E_c/I_o que hemos tomado para la movilidad AVE es la misma que para el resto de movilidades. Este valor se ha fijado tomando como referencia otros estudios de dimensionamiento de redes UMTS a los se ha tenido acceso [2].

En la figura 3-11 vemos como se definen en Atoll las movilidades.

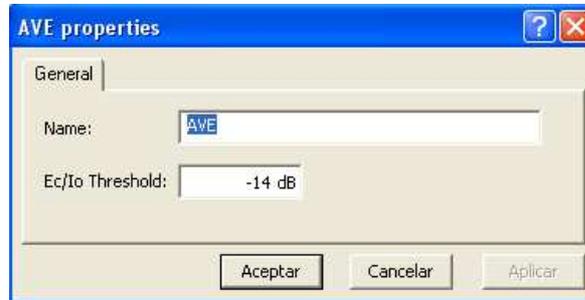


Figura 3-11: AVE properties

10.3.3 SERVICIOS

Los servicios que vamos a usar son: voz, acceso a internet, videoconferencia y MMS. No se ha creído necesario modificar los valores por defecto de Atoll para estos servicios ya que son valores típicos para planificación UMTS. Las características de los servicios se indican en la tabla 3-3.

	Mobile Internet Access	Multimedia Messaging Service	Video Conferencing	Voice
Type	Packet	Packet	Circuit	Circuit
Priority	0	0	1	2
Soft Handoff allowed	NO	NO	YES	YES
Nominal Rate UL	64 kbps	64 kbps	192 kbps	12,2 kbps
Nominal Rate DL	384 kbps	64 kbps	192 kbps	12,2 kbps
Coding Factor UL/DL	1	1	1	1
Activity Factor UL/DL	0,75	0,75	1	0,4
Allowed DL Traffic Powers Min	25 dBm	18 dBm	21 dBm	15 dBm
Allowed DL Traffic Powers Max	40 dBm	33 dBm	36 dBm	30 dBm
Body Loss	0 dB	0 dB	0 dB	3 dB

Tabla 3-3: Características de los Servicios

En la figura 3-12 vemos a modo de ejemplo la definición en Atoll del servicio de VOZ.

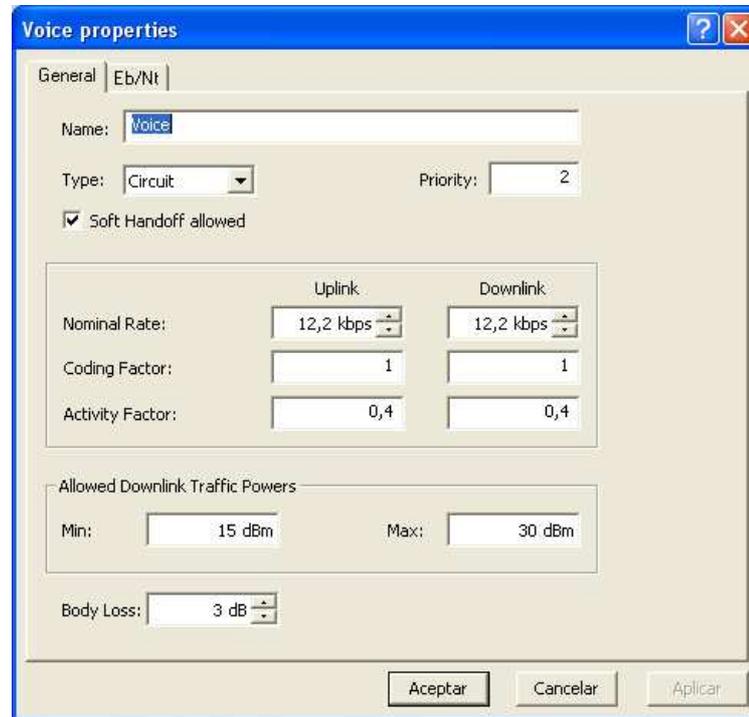


Figura 3-12: Voice Properties

En las propiedades de los servicios, aparte de las características indicadas anteriormente, hay que definir las relaciones señal/ruido para los canales de tráfico (Eb/Nt) necesarias para cada tipo de movilidad. Los valores de estas relaciones se han fijado realizando aproximaciones teniendo en cuenta otros estudios de dimensionamiento a los que se ha tenido acceso [2]. En las tablas 3-4, 3-5, 3-6 y 3-7, se muestran estas relaciones.

VOICE	Eb/Nt Uplink (dB)	Eb/Nt Downlink (dB)
50 Km/h	6	8
90 Km/h	6	9
Pedestrian	5	9
AVE	7	9

Tabla 3-4: relaciones Eb/Nt servicio Voz

VIDEO CONFERENCING	Eb/Nt Uplink (dB)	Eb/Nt Downlink (dB)
50 Km/h	4	7
90 Km/h	4	7
Pedestrian	3	6
AVE	5	8

Tabla 3-5: relaciones Eb/Nt servicio Videoconferencia

MMS	Eb/Nt Uplink (dB)	Eb/Nt Downlink (dB)
50 Km/h	4	7
90 Km/h	5	8
Pedestrian	3	6
AVE	6	9

Tabla 3-6: relaciones Eb/Nt servicio MMS

INTERNET ACCESS	Eb/Nt Uplink (dB)	Eb/Nt Downlink (dB)
50 Km/h	3	7
90 Km/h	3	7
Pedestrian	3	6
AVE	3	8

Tabla 3-7: relaciones Eb/Nt servicio Internet

10.3.4 PERFILES DE USUARIO

Los perfiles de usuario modelan el comportamiento de las diferentes categorías de abonados que tengamos en nuestro proyecto UMTS. Cada perfil de usuario contiene una lista de servicios y de parámetros asociados a éstos que describen como acceden los distintos usuarios a dichos servicios.

Los parámetros definidos son diferentes en función de que el servicio sea por conmutación de paquetes o de circuitos.

Por conmutación de circuitos los parámetros que tendremos que definir son:

- Número medio de llamadas por hora
- Duración media de la llamada en segundos
- El terminal usado

Y por conmutación de paquetes serán:

- Número medio de sesiones por hora
- Volumen de transferencia en el DL (en Kbytes)
- Volumen de transferencia en el UL (en Kbytes)
- Terminal usado

Los perfiles de usuario que hemos definido en nuestro proyecto son: AVE Business User, AVE Standard User, Business User, Standard User y Rural AVE. Estos perfiles con sus servicios y tipos de terminales asociados podemos verlos en las figuras 3-13, 3-14, 3-15, 3-16 y 3-17. Los valores de la tabla se han fijado tomando como referencia otros estudios de dimensionamiento de redes UMTS a los que se ha tenido acceso [2], [10], [11].

AVE Business User properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	Mobile Internet Access	Laptop	0,2		700	4.500
	Multimedia Messaging Service	Mobile Phone	0,2		50	50
	Video Conferencing	PDA	0,01	600		
	Voice	Mobile Phone	0,2	240		
*						

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-13: AVE Business User Properties

AVE Standard User properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
	Multimedia Messaging Service	Mobile Phone	0,2		100	100
	Voice	Mobile Phone	0,2	600		
*						

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-14: AVE Standard User Properties

Business User properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
<input type="checkbox"/>	Mobile Internet Access	PDA	0,1		700	4.500
<input type="checkbox"/>	Multimedia Messaging Service	Mobile Phone	0,2		50	50
<input type="checkbox"/>	Voice	Mobile Phone	0,4	300		
<input type="checkbox"/>	Video Conferencing	PDA	0,01	600		
<input type="checkbox"/>	*					

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-15: Business User Properties

Standard User properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
<input type="checkbox"/>	Mobile Internet Access	PDA	0,1		1.000	2.500
<input type="checkbox"/>	Multimedia Messaging Service	Mobile Phone	0,2		100	100
<input type="checkbox"/>	Voice	Mobile Phone	0,2	240		
<input type="checkbox"/>	*					

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-16: Standar User Properties

Rural AVE properties

General

Name:

Service Use:

	Service	Terminal	Calls/hour	Duration (sec.)	UL Volume (KBytes)	DL Volume (KBytes)
<input type="checkbox"/>	Voice	Mobile Phone	0,01	120		
<input type="checkbox"/>	*					

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-17: Rural AVE Properties

10.3.5 ENTORNOS

Un entorno representa un concepto económico y social, que delimita las características de los perfiles de usuario. Cada entorno contiene una lista de perfiles de usuario con un tipo de movilidad asociada y una densidad dada (número de abonados con el mismo perfil por km²).

Los entornos que hemos definido y sus características figuran en la tabla 3-8.

	User	Mobility	Density (Subscribers/Km ²)
Estacion Sevilla	Business User	Pedestrian	68,56
	Standard User	Pedestrian	283,04
San Jose de la Rinconada	Standard User	Pedestrian	15,7
Brenes	Standard User	Pedestrian	25,87
	Standard User	50 Km/h	10
Lora del Rio	Standard User	Pedestrian	4,18
Peñaflor	Standard User	Pedestrian	2,89
Almodovar del Rio	Standard User	Pedestrian	2,85
Estación de Córdoba	Business User	Pedestrian	155,35
	Standard User	Pedestrian	641,33
AVE	Rural AVE	Pedestrian	0,05
Dense Urban	Business User	Pedestrian	355
	Standard User	Pedestrian	1465
	Standard User	50 Km/h	100
Urban	Standard User	Pedestrian	1080
	Standard User	50 Km/h	200
Suburban	Standard User	Pedestrian	20
	Standard User	50 Km/h	5
Rural	Standard User	Pedestrian	15
	Standard User	90 Km/h	10
Residencial	Standard User	Pedestrian	270
	Standard User	50 Km/h	50
Industrial	Standard User	Pedestrian	440
	Standard User	50 Km/h	200

Tabla 3-8: Características de los entornos

En la figura 3-18 podemos ver uno de esos entornos, en concreto el entorno Estación Sevilla.

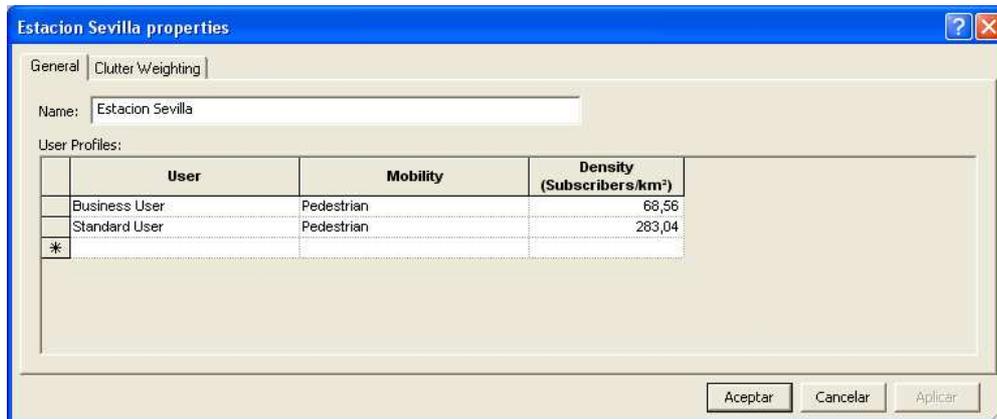


Figura 3-18: Estación Sevilla Properties

Para dimensionar la red hemos realizado una serie de suposiciones que pasamos a explicar.

En nuestro proyecto vamos a considerar que somos una operadora que tiene una cuota de mercado del 32 %. Este dato lo hemos obtenido considerando la media de las cuotas de las tres operadoras principales en España según la nota mensual de Enero 2008 de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT) [13].

No todos los usuarios de nuestra operadora serán abonados UMTS. Nosotros hemos considerado que la penetración UMTS es del 20%. Este dato lo hemos obtenido del Informe Anual de la CMT [13] y del informe La Sociedad en Red elaborado por el ONTSI (Observatorio Nacional de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información) [14].

Para estimar las densidades de los pueblos por los que pasa nuestra línea del AVE y que hemos tenido en cuenta en nuestro proyecto hemos tomado como referencia estudios demográficos del Instituto Nacional de Estadística [15].

Para estimar las densidades de los entornos Estación Sevilla y Estación Córdoba hemos tenido acceso a informes que indicaban el número de usuarios que tuvieron estas estaciones en el 2008 [17].

Para el resto hemos tomado como referencia otros estudios demográficos a los que se ha tenido acceso [2], [15].

En los entornos en los que existen usuarios Business y Standard hemos considerado que los usuarios business serían usuarios que usarían Internet de Alta Velocidad y según informe de la Comisión Europea al que hemos tenido acceso [18] esto se corresponde con un 19,5 % de los usuarios.

10.3.6 MAPAS DE TRÁFICO

En Atoll se pueden definir varios tipos de mapas de tráfico, como indicamos en apartados anteriores. En nuestro proyecto vamos a definir tres mapas de tráfico, uno con información del entorno, Traffic Raster Map based on environments, y otros dos basados en perfiles de usuario, Traffic Vector Map based on User Profiles.

Para crear un mapa de tráfico en Atoll seleccionamos en la pestaña Geo de la ventana del explorador, crear un nuevo mapa de tráfico, basado en entornos o de tipo raster, y vamos marcando sobre el mapa a que tipo de entorno pertenece cada zona. En la figura 3-19 se muestra una parte del mapa creado.

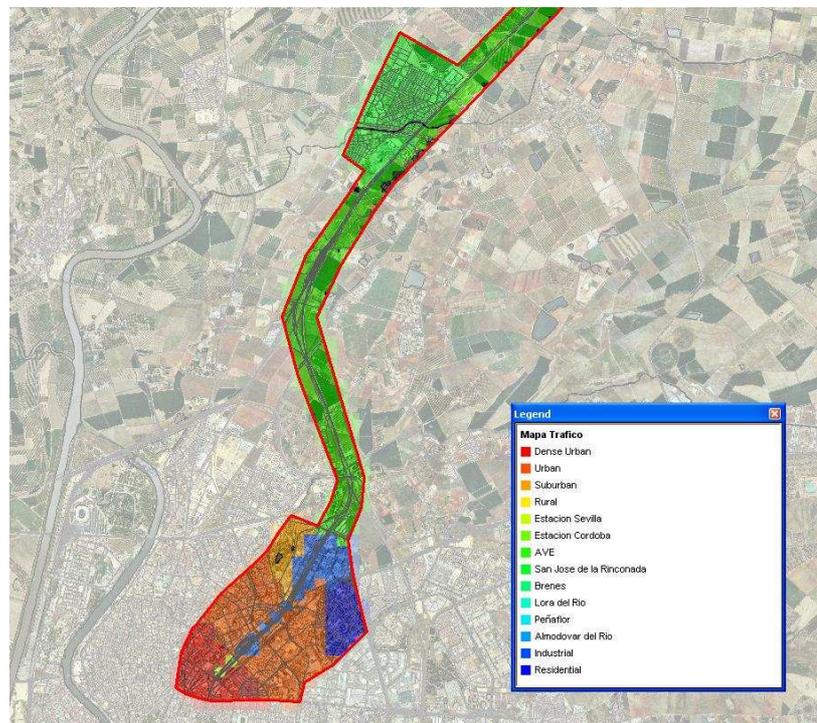


Figura 3-19: Traffic Raster Map

Los dos mapas vectoriales que vamos a definir serán utilizados para dimensionar el tráfico de la línea AVE Sevilla-Córdoba. Vamos a definir un mapa para el perfil de usuario AVE Business y otro para el perfil de usuario AVE Standard.

Para crear un mapa vectorial seleccionamos en la pestaña Geo de la ventana del explorador, crear un nuevo mapa de tráfico, basado en perfiles de usuarios, y con la ayuda del editor de la barra de herramientas trazamos una línea que siga el recorrido del AVE. Para poder visualizarlo correctamente hemos aumentado el grosor de la línea y le hemos asignado el color azul. Podemos ver parte del mapa en la figura 3-20.

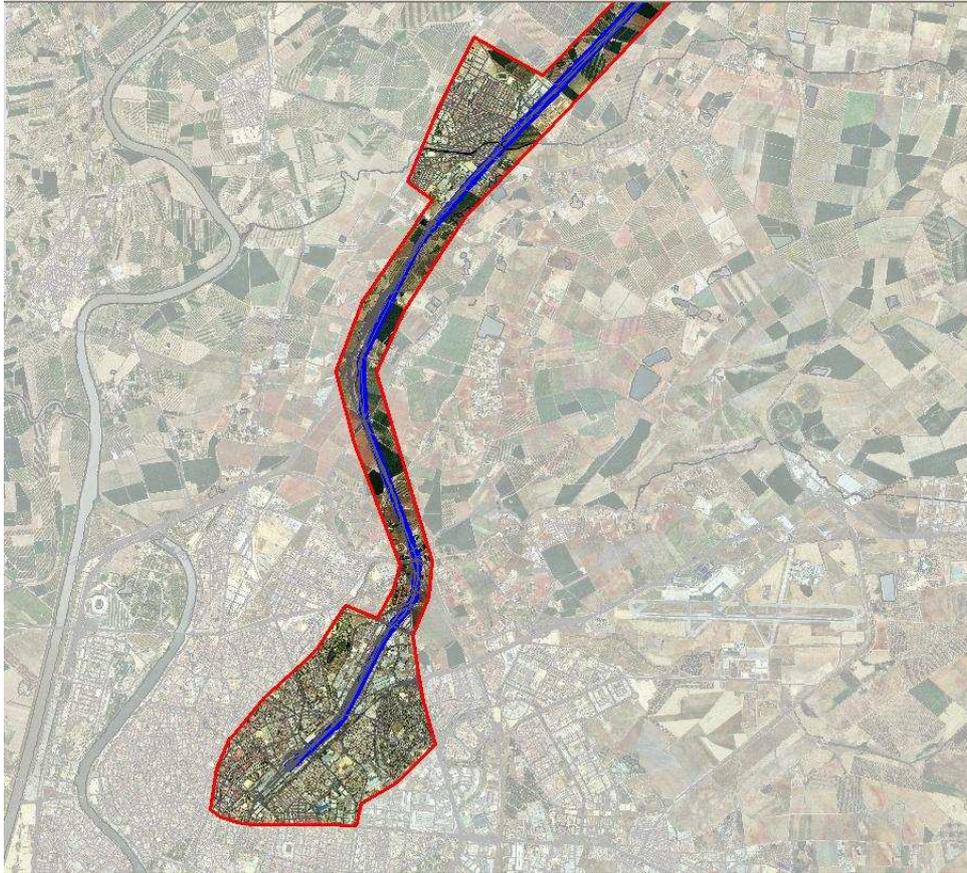


Figura 3-20: Traffic Vector Map

A continuación hay que asignarle un perfil de usuario a cada uno de los dos mapas vectoriales, que tal y como hemos indicado anteriormente serán AVE Business User para uno y AVE Standard User para otro, y una movilidad, que en ambos casos será AVE. Por último, hay que asignarles una densidad de usuarios.

A la hora de estimar la densidad de usuarios AVE hemos tenido en cuenta el número de trenes AVE que realizan el trayecto Sevilla-Madrid (que serían los que pasarían por el tramo de línea AVE que ocupa nuestro proyecto, Sevilla-Córdoba), que según información obtenida de la empresa RENFE [16] son aproximadamente 44 trenes diarios (no hemos tenido en cuenta el posible aumento de la oferta de plazas debido a eventos puntuales).

Los trenes que habitualmente realizan el recorrido Sevilla-Córdoba-Madrid son en su mayoría AVE Serie 100 que cuentan con 329 plazas [16]. Por tanto tendríamos un total de 14476 viajeros diarios. Ya que los trenes no van siempre completos necesitamos saber su grado de ocupación. Según la Memoria 2007 de RENFE [16] el aprovechamiento de la línea Sevilla-Madrid del AVE es de un 63,48%, lo cual deja el número de viajeros en aproximadamente 9189.

Los trenes AVE están circulando desde las 6 de la mañana hasta las 12 de la noche, lo que supone 18 horas al día, y tardan en recorrer el trayecto Sevilla-Córdoba una media de 45 minutos. Para modelar el tráfico de nuestra red hemos decidido dividir esas 18 horas en intervalos de 45 minutos, lo que nos daría 24 intervalos de tiempo, y

repartir el número de viajeros diarios por esos 24 intervalos. Con esto tendríamos 382,875 viajeros.

Para obtener la superficie necesaria para el cálculo de la densidad hemos considerado que nuestros usuarios se distribuyen a lo largo de todo el trazado de la línea del AVE. La anchura del área (sería la correspondiente a 2 trenes, uno de ida y otro de vuelta, y las distancias entre ambas vías) según informes a los que hemos tenido acceso, en media, son unos 0,015 Km [19], [21], y la vía tiene 125,102 Km de largo [19], por lo tanto, nuestra densidad de viajeros sería de 204,2 viajeros/Km².

Para obtener la densidad de usuarios tenemos que aplicar las hipótesis del apartado 5.3.5, y obtenemos las densidades que aparecen en la tabla 3-9.

	AVE Business User	AVE Standard User
Density	2,55	10,52

Tabla 3-9: Densidad usuarios mapas vectoriales

Con esto ya tendríamos definidos los mapas de tráfico de que vamos a utilizar en nuestro proyecto.

10.4 PLANIFICACIÓN DEL DESPLIEGUE

10.4.1 MODELO DE PROPAGACIÓN

Para el cálculo de las pérdidas a lo largo del camino transmisor-receptor, los modelos de propagación permiten realizar predicciones de la señal recibida en un punto dado, teniendo en cuenta los datos Radio y los datos geográficos, como los mapas DTM o los clutter classes. Atoll proporciona varios modelos de propagación, que son, al igual que todos los objetos dentro de Atoll, fácilmente gestionables.

Nosotros vamos a utilizar el método de Cost-Hata. Este método se ha elegido tomando como referencia estudios de dimensionamiento a los que se ha tendido acceso [2]. La fórmula de Hata está especialmente concebida para aplicaciones a las comunicaciones móviles en cualquier tipo de entorno (COST231 es sólo para entornos urbanos) y por otra parte el método de Okumura-Hata es solo para frecuencias inferiores a 1.500 MHz. Cost-Hata (o Hata-Cost231) es una variación de la fórmula de Hata para sistemas que funcionen en 1.800 MHz y 2.000 MHz [8], como es el caso que nos ocupa.

A continuación, en el panel Modules, en la carpeta Propagation Models podemos ajustar los parámetros del método de Cost-Hata. Para utilizar este método, es necesario definir la correspondencia entre zonas de clutter y la versión del modelo (fórmula)

aplicable en cada una, en la ventana de propiedades del modelo. La asignación de fórmulas es la que se muestra en la figura 3-21.

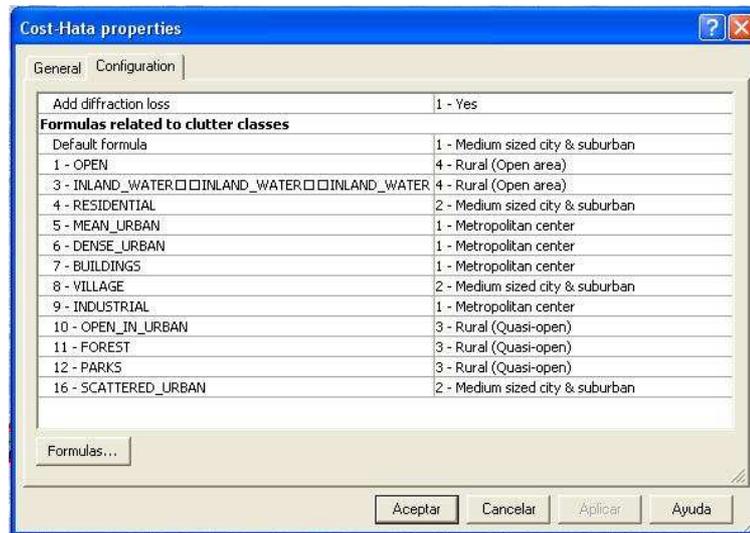


Figura 3-21: Asignación de fórmulas modelo Cost-Hata

En las figuras 3-22, 3-23, 3-24 y 3-25 podemos ver las fórmulas usadas en el modelo.

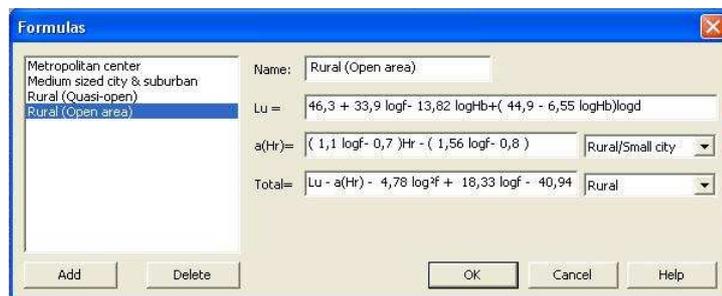


Figura 3-22: Fórmula Rural (Open area)

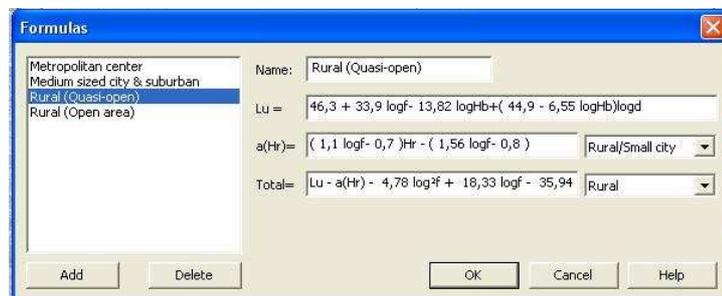


Figura 3-23: Fórmula Rural (Quasi-open)

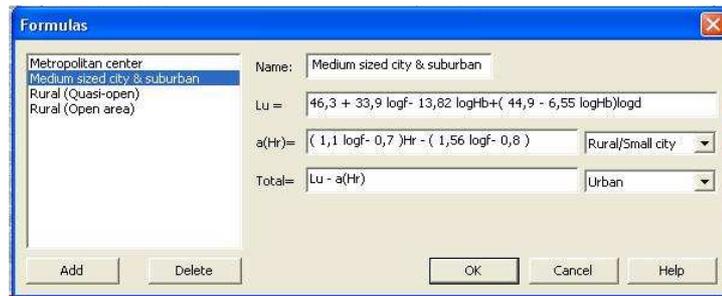


Figura 3-24: Fórmula Medium sized city & suburban

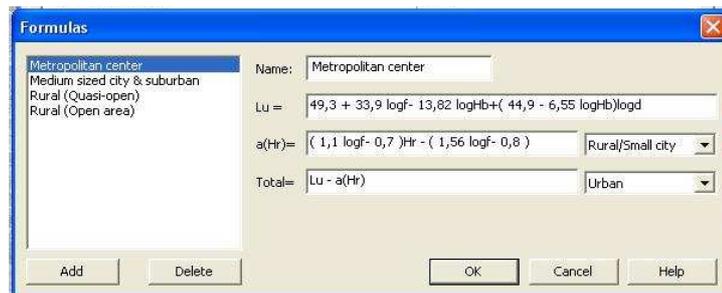


Figura 3-25: Fórmula Metropolitan center

Para que en nuestros cálculos Atoll use el modelo de propagación que hemos elegido debemos ir a la carpeta Predictions y en las propiedades de ésta, elegir como método por defecto el modelo Cost-Hata con resolución de 20 m, y una altura de móvil de 1,5 m. Estos son valores típicos en este tipo de estudios.

10.4.2 EQUIPAMIENTO DE LA RED

10.4.2.1 Antenas utilizadas

Dependiendo del tipo de proyecto, Atoll puede proporcionar las antenas adecuadas, ya que dispone de una base de datos con distintas clases de antenas. Pero también permite que nosotros creemos las antenas e introduzcamos los parámetros que se adapten a las características de nuestra antena (nombre, fabricante, ganancia, patrones de radiación horizontal y vertical, y comentarios).

Nosotros hemos elegido una antena del fabricante Andrew HBX-6519DS-T2M. Su descripción detallada proporcionada por el fabricante se encuentra en el Anexo de este proyecto.

Para crear la antena nos vamos a la carpeta Antennas en la pestaña Data de la ventana de exploración, y elegimos New en el menú. A continuación hay que introducir las características de la antena, y sus patrones de radiación horizontal y vertical. En la

figura 3-26 podemos observar como se introducen las características de la antena que hemos creado en Atoll.

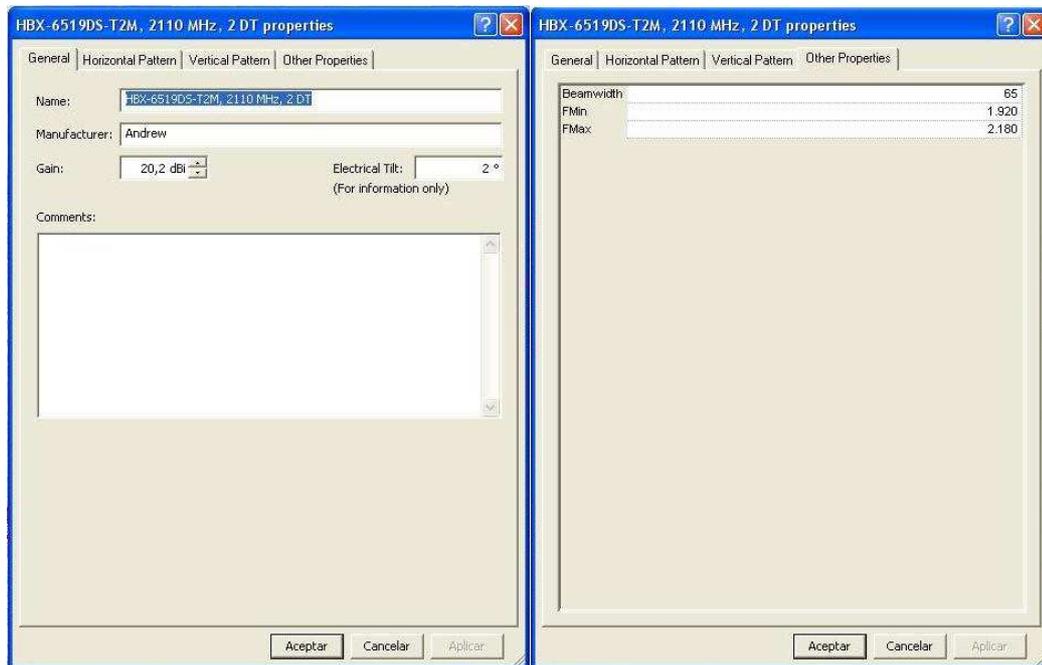


Figura 3-26: Características de la antena

En las figuras 3-27 y 3-28 podemos ver los patrones de radiación de nuestra antena.

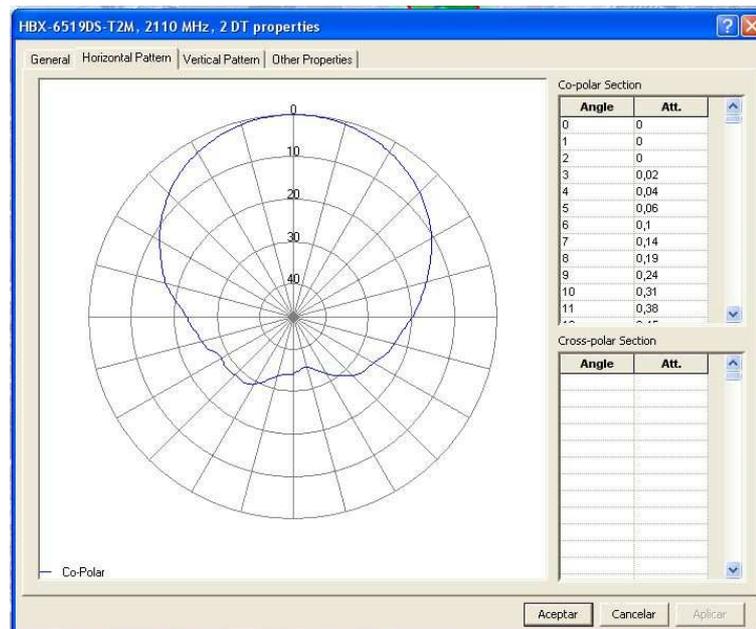


Figura 3-27: Patrón de radiación horizontal

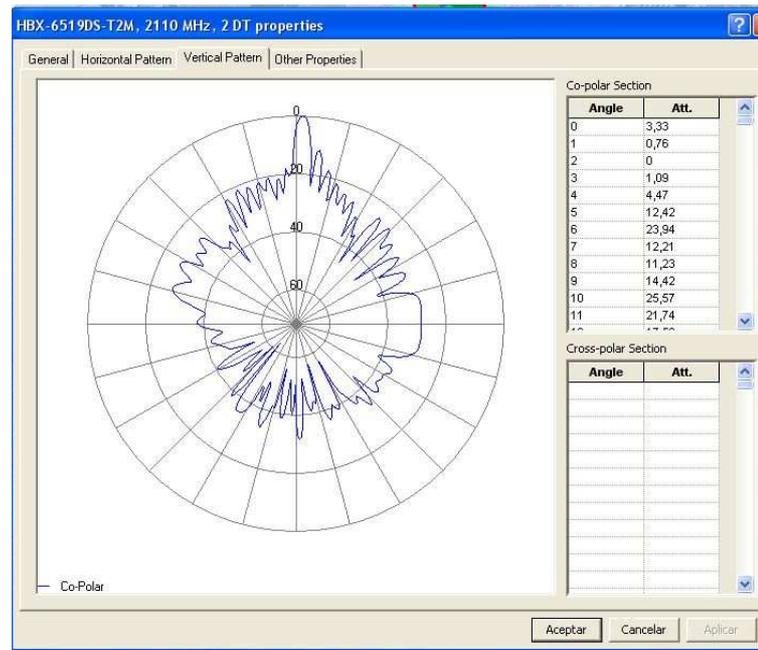


Figura 3-28: Patrón de radiación vertical

10.4.2.2 Estación base

El modelo de estación base que hemos elegido es el IN-60 del fabricante Nortel [10].

Las características de la estación base se incluyen en Atoll en la plantilla de despliegue correspondiente. En la barra de herramientas radio, seleccionamos gestionar plantilla, hacemos una copia de una plantilla antigua y la rellenamos con las especificaciones de nuestra estación base.

En las figuras 3-29 y 3-30 vemos la plantilla usada en nuestro proyecto donde podemos apreciar las características del equipo que hemos elegido.

Plantilla UMTS Proyecto properties

General | Transmitter | W-CDMA/UMTS

Name:

Sectors: Hexagon Radius:

Main Antenna

Model:

1st Sector Azimuth: Mechanical Downtilt:

Height:

Propagation

Main Matrix

Propagation Model:

Radius:

Resolution:

Extended Matrix

Propagation Model:

Radius:

Resolution:

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-29: Plantilla UMTS Proyecto

Plantilla UMTS Proyecto properties

General | Transmitter | W-CDMA/UMTS

Carriers:

AS Threshold:

Power

Maximum: Pilot:

SCH: Other CCH:

Total Transmitted: UL load:

Number of Uplink Channel Elements:

Number of Downlink Channel Elements:

Equipment:

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 3-30: Plantilla UMTS Proyecto

10.4.3 SITUACIÓN EMPLAZAMIENTOS

Una vez modelado el tráfico, y definidos los equipos que vamos a utilizar, podemos empezar a ubicar los emplazamientos.

Atoll proporciona las herramientas adecuadas para obtener un diseño de red óptimo. El proceso que llevamos a cabo consistió en ir situando emplazamientos y realizando las simulaciones oportunas hasta conseguir un diseño de nuestra red que nos proporcionase unos objetivos de calidad determinados.

De esta manera tras varias iteraciones conseguimos la ubicación adecuada para los emplazamientos de nuestra red. Parte de este proceso lo veremos en el siguiente apartado.

En la tabla 3-10 podemos observar las coordenadas de nuestra configuración final de emplazamientos.

Name	X	Y	Altitude (m)
Site0	236.116	4.142.918	20
Site1	237.395	4.142.499	20
Site10	246.799	4.159.536	20
Site11	249.320	4.161.728	20
Site12	258.863	4.163.769	39
Site13	274.664	4.169.886	40
Site14	277.023	4.171.741	45
Site15	279.468	4.172.771	59
Site16	295.616	4.178.328	80
Site17	304.411	4.183.372	80
Site18	307.784	4.184.989	90
Site19	318.800	4.187.200	96
Site2	237.163	4.142.957	20
Site20	328.914	4.189.852	86
Site21	336.313	4.192.657	121
Site22	340.362	4.194.033	120
Site23	341.276	4.195.153	127
Site24	341.897	4.194.205	120
Site25	342.168	4.194.930	124

Site26	342.451	4.195.787	132
Site27	343.460	4.194.679	120
Site28	332.293	4.191.078	105
Site29	321.280	4.186.036	88
Site3	237.047	4.144.097	20
Site30	313.200	4.187.200	133
Site31	298.697	4.180.004	103
Site32	265.800	4.163.200	20
Site34	236.487	4.143.407	20
Site35	342.955	4.195.155	123
Site36	244.800	4.157.000	26
Site37	236.595	4.142.451	20
Site38	269.600	4.165.200	24
Site39	291.400	4.177.200	68
Site4	238.043	4.143.057	20
Site40	325.800	4.188.400	90
Site42	286.600	4.175.800	79
Site43	261.800	4.163.200	40
Site44	310.000	4.185.600	100
Site45	322.633	4.186.947	82
Site46	254.000	4.162.600	25
Site47	242.400	4.154.600	20
Site48	271.600	4.167.600	40
Site49	283.000	4.174.400	60
Site5	237.935	4.144.905	20
Site50	302.000	4.182.200	82
Site6	238.647	4.143.825	20
Site7	239.099	4.145.957	20
Site8	238.153	4.149.360	20
Site9	240.086	4.152.714	20

Tabla 3-10: Situación emplazamientos final

En las figuras 3-31 y 3-32 podemos ver representados en Atoll dichos emplazamientos. Se han quitado de la imagen los distintos mapas que hemos usado para que pudiesen apreciarse los emplazamientos.

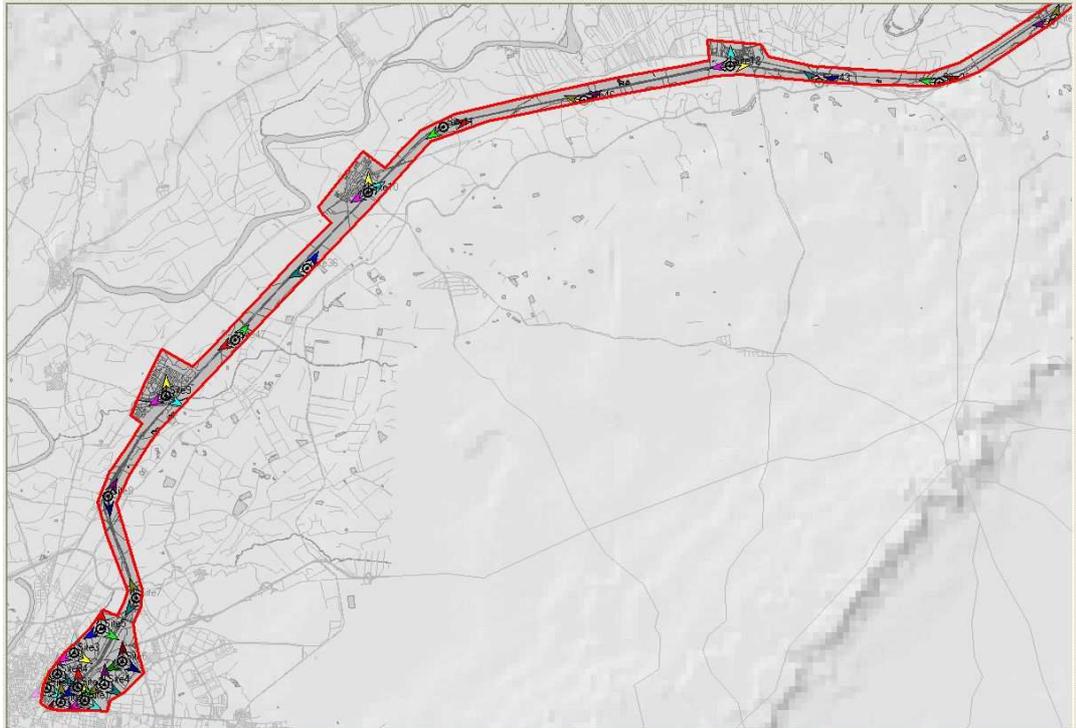


Figura 3-31: Situación emplazamientos

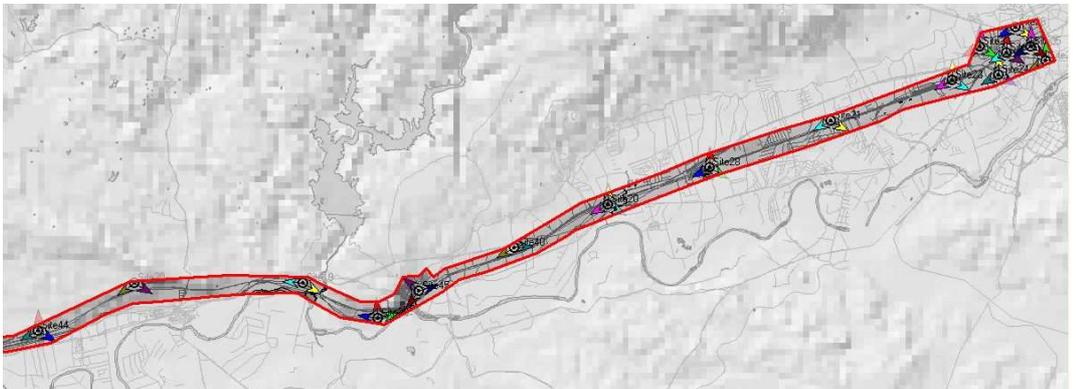


Figura 3-32: Situación emplazamientos

10.4.4 SIMULACIONES

Como ya habíamos indicado en apartados anteriores, las simulaciones en Atoll están basadas en un simulador de Monte Carlo. A partir de las distribuciones de usuarios correspondientes a los mapas de tráfico, Atoll ejecuta un algoritmo de control

de potencia tanto en el enlace ascendente como en el descendente, con el objetivo de minimizar la interferencia y maximizar la capacidad de la red [2].

En Atoll estas simulaciones equivalen a una distribución dada de usuarios, es decir, genera una instantánea de la red UMTS. Como salida, Atoll calcula para esa distribución de usuarios, distintos parámetros de red (como el conjunto activo para cada móvil, la potencia requerida por los móviles, etc,...) , y también la potencia total en el DL y la carga en el UL para cada célula implicada en la simulación.

Se pueden realizar tantas simulaciones como se requiera, varias al mismo tiempo o una sola. También se pueden calcular varias simulaciones al mismo tiempo agrupadas.

Es posible también volver a realizar un grupo de simulaciones o añadirles simulaciones adicionales a un grupo ya existente.

En UMTS cada estación móvil recibe interferencia de estaciones base de células diferentes a la suya, pero no de otros móviles, y toda estación base recibe interferencia de los móviles de su célula y de otras células, pero no de las demás estaciones base.

Ya hemos comentado que 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. En Atoll se distinguen las siguientes causas para el rechazo:

1. La calidad de la señal es insuficiente:

- La relación portadora/interferencia en el DL está por debajo del umbral ($E_c/I_o < E_c/I_o \text{ min}$).
- Se excede la máxima potencia disponible para los canales de tráfico en el DL ($P_{tch} > P_{tch \text{ max}}$).
- Se excede la máxima potencia que pueden transmitir los móviles en el UL ($P_{mob} > P_{mob \text{ max}}$).

2. Si las anteriores restricciones se respetan, los rechazos son consecuencia de la saturación de la red:

- Se excede el factor de carga (en admisión, o congestión).
- Se han agotado los elementos de canal por emplazamiento.
- No hay suficiente potencia para transmitir por célula.
- Se han agotado los códigos de ensanchado.

Una parte de la potencia de los transmisores se destina al canal piloto; otra al canal de sincronización; otra a los canales de control, y el resto se comparte entre los canales de tráfico. A diferencia del canal piloto y de los canales de sincronización y control, el número de canales de tráfico y sus correspondientes potencias dependen del tráfico de datos, y es uno de los parámetros que se determina en las simulaciones, a

través del algoritmo de control de potencia. Los valores mínimo y máximo de la potencia de los canales de tráfico están detallados para cada servicio en la tabla Services de UMTS Parameters. La suma de las potencias de los canales de tráfico, control, sincronización, y piloto, no puede exceder la máxima potencia transmitida por célula.

Como habíamos indicado en el apartado anterior, primero realizamos un diseño inicial de la red que tras varias simulaciones vamos mejorando hasta alcanzar el objetivo deseado.

En principio vamos a fijarnos los objetivos de calidad de la tabla 3-11. Estos objetivos se han tomado de otros estudios similares a los que hemos tenido acceso [10].

Servicio	Probabilidad de rechazo o retardo
Voice	2%
MMS	5%
Mobile Internet Access	10%
Video conferencing	2%

Tabla 3-11: Objetivos de calidad

Hemos fijado ese objetivo de disponibilidad para los servicios de Voz y Video Conferencia ya que las redes de telefonía suelen diseñarse para tener un 2% de probabilidad de rechazo. Hemos fijado un objetivo de calidad de un 5% para el servicio MMS porque tiene una prioridad menor que las 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 además es 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 unos valores elevados de disponibilidad.

En la figura 3-33 podemos observar el diseño del que hemos partido y en la tabla 3-12 vemos las coordenadas de los sites. En este primer diseño cada emplazamiento tendrá 3 transmisores, y vamos a usar 28 emplazamientos.

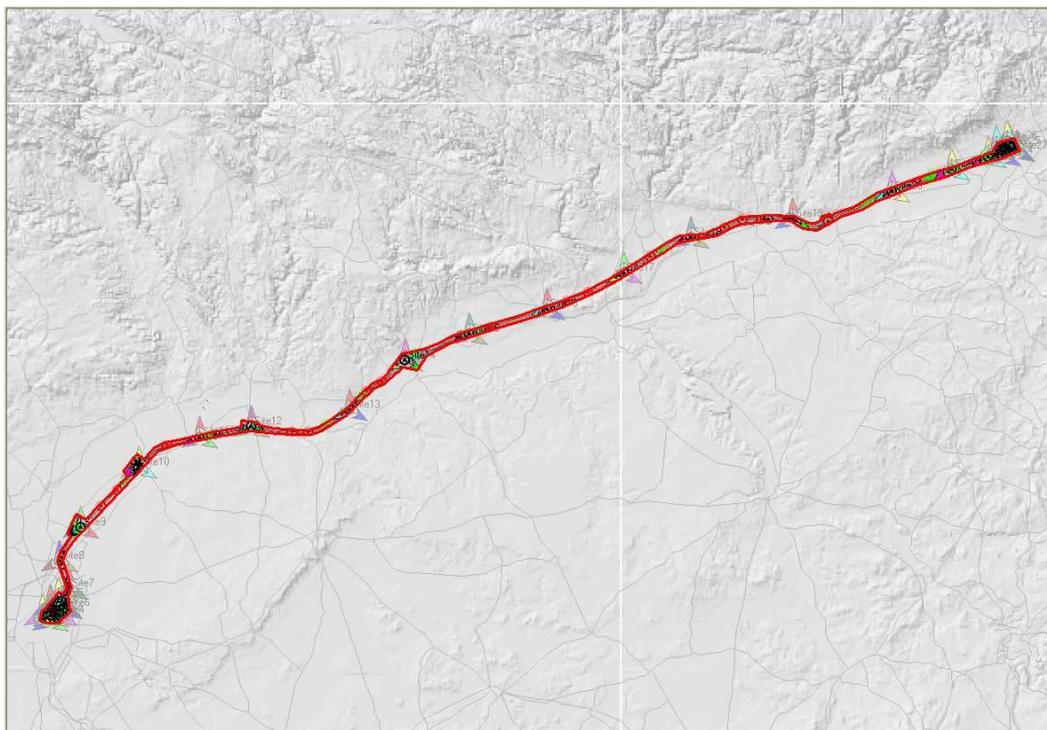


Figura 3-33: Situación emplazamientos inicial

Name	X	Y	Altitude (m)
Site0	236.207	4.143.001	20
Site1	237.015	4.142.413	20
Site10	246.780	4.159.506	20
Site11	253.448	4.162.786	23
Site12	259.242	4.163.951	38
Site13	269.984	4.165.855	20
Site14	276.095	4.171.332	45
Site15	283.213	4.174.296	60
Site16	291.785	4.177.074	63
Site17	300.225	4.181.069	114
Site18	307.607	4.185.064	96
Site19	318.851	4.187.128	91
Site2	237.163	4.142.957	20
Site20	329.752	4.190.144	99
Site21	336.313	4.192.657	121

Site22	340.362	4.194.033	120
Site23	341.276	4.195.153	127
Site24	341.897	4.194.205	120
Site25	342.685	4.195.186	123
Site26	342.451	4.195.787	132
Site27	343.460	4.194.679	120
Site3	237.047	4.144.097	20
Site4	238.043	4.143.057	20
Site5	237.935	4.144.905	20
Site6	238.647	4.143.825	20
Site7	239.099	4.145.957	20
Site8	238.023	4.149.028	20
Site9	240.377	4.152.785	20

Tabla 3-12: Coordenadas sites configuración inicial

Con este primer diseño realizamos un grupo de simulaciones formado por 10 simulaciones, con el objetivo de realizar el cálculo estadístico un número elevado de veces, para que los resultados obtenidos se acerquen más a la realidad de la red. Para nuestro grupo de simulaciones incluimos los tres mapas de tráfico que hemos creado, el mapa de tráfico basado en entornos y los dos vectoriales para la línea del AVE. Vamos a realizar las simulaciones con todas las restricciones y a valorar los resultados de la simulación media.

En la tabla 3-13 vamos a presentar los resultados de la simulación tal y como los muestra Atoll.

TOTAL

Users: 319 (standard deviation 0)
Rate/ downlink: 15,84 Mbps (standard deviation 0 bps) uplink: 4,49 Mbps (standard deviation 0 bps)

BREAKDOWN PER SERVICE:

Mobile Internet Access:

Users: 75 (standard deviation 0)
Rate/ downlink: 13,82 Mbps (standard deviation 0 bps) uplink: 2,5 Mbps (standard deviation 0 bps)

Multimedia Messaging Service:

Users: 26 (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 896 kbps (standard deviation 0 bps) uplink: 768 kbps
 (standard deviation 0 bps)

Video Conferencing:

Users: 1 (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 192 kbps (standard deviation 0 bps) uplink: 192 kbps
 (standard deviation 0 bps)

Voice:

Users: 217 (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 927,2 kbps (standard deviation 0 bps) uplink: 1,04
 Mbps (standard deviation 0 bps)

REJECTIONS NUMBER: 27 (8,5%)

Pmob > PmobMax: 7
 Ptch > PtchMax: 3
 Ec/Io < (Ec/Io)min: 14
 load saturation: 0
 Ch. Elts saturation: 0
 Cell power saturation: 3
 Multiple causes: 0
 Code saturation: 0
 Admission rejection: 0

TOTAL

Users: 292 (91,5%) (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 14,28 Mbps (standard deviation 0 bps) uplink: 4,1
 Mbps (standard deviation 0 bps)

BREAKDOWN PER SERVICE:**Mobile Internet Access:**

Users: 71 (94,7%) (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 12,67 Mbps (standard deviation 0 bps) uplink: 2,43
 Mbps (standard deviation 0 bps)

Multimedia Messaging Service:

Users: 23 (88,5%) (standard deviation 0)
 Rate/ downlink: 768 kbps (standard deviation 0 bps) uplink: 704 kbps
 (standard deviation 0 bps)

Video Conferencing:

Users: 0 (0%) (standard deviation 0)		
Rate/ downlink: 0 bps (standard deviation 0 bps)	uplink: 0 bps	
Voice:		
Users: 198 (91,2%) (standard deviation 0)		
Rate/ downlink: 841,8 kbps (standard deviation 0 bps)	uplink: 963,8 kbps (standard deviation 0 bps)	

Tabla 3-13: Resultados simulación configuración inicial

En los resultados de las simulaciones podemos observar que existe un rechazo o retraso en media de un 8,5%. Esto está lejos de nuestro objetivo de calidad, que era en torno a un 2%. Vemos también que la mayor parte de los rechazos son debidos a que la calidad de la señal es insuficiente:

- la relación portadora interferencia en el DL en el canal piloto está por debajo del umbral (14 usuarios rechazados)
- en el UL se excede la máxima potencia que pueden transmitir los móviles (7 usuarios rechazados)
- se excede en el DL la máxima potencia disponible para los canales de tráfico (3 usuarios rechazados)

También vemos que existen usuarios rechazados porque no hay suficiente potencia para transmitir por célula.

La solución que vamos a tomar es aumentar el número de emplazamientos, ya que dada la longitud de nuestro trazado el número que hemos tomado es insuficiente y provoca una mala calidad de la señal a lo largo del trayecto de la línea del AVE.

Después de varias iteraciones llegamos al diseño que aparece en la figura 3-34 en el que hemos usado 49 emplazamientos. Las coordenadas de los sites los representamos en la tabla 3-10 en el apartado 10.4.3.

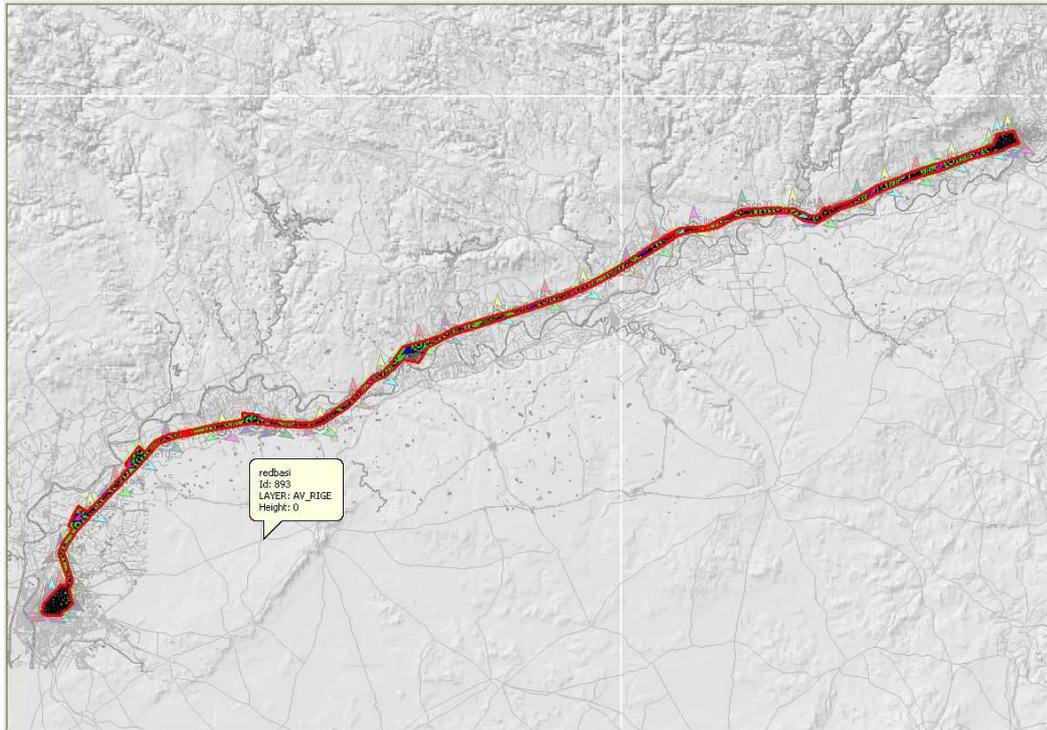


Figura 3-34: Situación emplazamientos intermedia

Los emplazamientos en este diseño siguen teniendo cada uno 3 transmisores.

En la tabla 3-14 podemos observar de nuevo los resultados de las simulaciones realizadas con esta nueva configuración.

TOTAL

Users: 331 (standard deviation 0)

**Rate/ downlink: 12,16 Mbps (standard deviation 1,75 Mbps) uplink:
5,79 Mbps (standard deviation 371,1 kbps)**

BREAKDOWN PER SERVICE:

Mobile Internet Access:

Users: 80 (standard deviation 5,56)

**Rate/ downlink: 9,9 Mbps (standard deviation 1,71 Mbps)
uplink: 3,5 Mbps (standard deviation 408,13 kbps)**

Multimedia Messaging Service:

Users: 25 (standard deviation 4,59)

**Rate/ downlink: 796,44 kbps (standard deviation 225,99 kbps)
uplink: 803,56 kbps (standard deviation 170,96 kbps)**

Video Conferencing:

Users: 2 (standard deviation 1,45)
Rate/ downlink: 405,33 kbps (standard deviation 278,15 kbps)
uplink: 405,33 kbps (standard deviation 278,15 kbps)

Voice:

Users: 223 (standard deviation 3,65)
Rate/ downlink: 1,06 Mbps (standard deviation 101,06 kbps)
uplink: 1,08 Mbps (standard deviation 78,81 kbps)

REJECTIONS NUMBER: 3 (0,9%)

Pmob > PmobMax: 1
Ptch > PtchMax: 1
Ec/Io < (Ec/Io)min: 1
load saturation: 0
Ch. Elts saturation: 0
Cell power saturation: 0
Multiple causes: 0
Code saturation: 0
Admission rejection: 0

TOTAL

Users: 326 (98,5%) (standard deviation 2,85)
Rate/ downlink: 11,4 Mbps (standard deviation 1,57 Mbps) uplink: 5,71
Mbps (standard deviation 357,72 kbps)

BREAKDOWN PER SERVICE:

Mobile Internet Access:

Users: 77 (96,3%) (standard deviation 6,04)
Rate/ downlink: 9,17 Mbps (standard deviation 1,51 Mbps)
uplink: 3,46 Mbps (standard deviation 426,07 kbps)

Multimedia Messaging Service:

Users: 24 (96%) (standard deviation 4,61)
Rate/ downlink: 789,33 kbps (standard deviation 217,56 kbps)
uplink: 796,44 kbps (standard deviation 176,21 kbps)

Video Conferencing:

Users: 2 (100%) (standard deviation 1,56)
Rate/ downlink: 384 kbps (standard deviation 300,19 kbps)
uplink: 384 kbps (standard deviation 300,19 kbps)

Voice:

Users: 221 (99,1%) (standard deviation 3,83)
Rate/ downlink: 1,06 Mbps (standard deviation 100,13 kbps)
uplink: 1,07 Mbps (standard deviation 78,88 kbps)

Tabla 3-14: Resultados simulación configuración intermedia

En los resultados de estas simulaciones vemos que se cumplen ampliamente los objetivos que nos habíamos marcado inicialmente, incluso tenemos cierto margen para intentar minimizar el coste de la red.

Lo que vamos a hacer es disminuir el número de transmisores, eliminando aquellos menos cargados, y dejando la mayor parte de los emplazamientos que cubren la línea del AVE con dos transmisores. También hemos reorientado las antenas de algunos emplazamientos y las hemos situado en zonas de mayor altitud. En la tabla 3-15 vamos a representar los transmisores de nuestro diseño final ya que los sites apenas han sufrido variación.

Site	Transmitter	Height (m)	Azimuth (°)	Site	Transmitter	Height (m)	Azimuth (°)
Site0	Site0_1	30	0	Site3	Site3_2	30	120
Site0	Site0_2	30	120	Site3	Site3_3	30	240
Site0	Site0_3	30	240	Site30	Site30_2	30	120
Site1	Site1_1	30	0	Site30	Site30_3	30	233
Site1	Site1_2	30	120	Site31	Site31_1	30	254
Site1	Site1_3	30	240	Site31	Site31_2	30	42
Site10	Site10_1	30	0	Site32	Site32_2	30	69
Site10	Site10_2	30	55	Site32	Site32_3	30	279
Site10	Site10_3	30	240	Site34	Site34_1	30	0
Site11	Site11_2	30	80	Site34	Site34_2	30	120
Site11	Site11_3	30	237	Site34	Site34_3	30	240
Site12	Site12_1	30	0	Site35	Site35_1	30	0
Site12	Site12_2	30	83	Site35	Site35_2	30	120
Site12	Site12_3	30	263	Site35	Site35_3	30	240
Site13	Site13_2	30	50	Site36	Site36_2	30	32
Site13	Site13_3	30	222	Site36	Site36_3	30	245
Site13	Site13_1	30	353	Site37	Site37_1	30	0
Site14	Site14_1	30	0	Site37	Site37_2	30	120
Site14	Site14_2	30	120	Site37	Site37_3	30	240
Site14	Site14_3	30	240	Site38	Site38_1	30	15
Site15	Site15_1	30	67	Site38	Site38_3	30	261
Site15	Site15_2	30	249	Site39	Site39_2	30	88
Site16	Site16_1	30	44	Site39	Site39_3	30	240
Site16	Site16_3	30	265	Site4	Site4_1	30	0
Site17	Site17_1	30	32	Site4	Site4_2	30	120
Site17	Site17_2	30	243	Site4	Site4_3	30	240
Site18	Site18_2	30	84	Site40	Site40_2	30	92
Site18	Site18_3	30	260	Site40	Site40_3	30	240
Site19	Site19_2	30	120	Site42	Site42_2	30	119
Site19	Site19_3	30	276	Site42	Site42_3	30	215
Site2	Site2_1	30	0	Site43	Site43_2	30	68
Site2	Site2_2	30	120	Site43	Site43_3	30	308
Site2	Site2_3	30	240	Site44	Site44_1	30	0
Site20	Site20_1	30	0	Site44	Site44_2	30	120
Site20	Site20_2	30	120	Site44	Site44_3	30	240
Site20	Site20_3	30	240	Site45	Site45_1	30	309

Site21	Site21_2	30	120	Site45	Site45_2	30	72
Site21	Site21_3	30	240	Site45	Site45_3	30	218
Site22	Site22_1	30	0	Site46	Site46_1	30	286
Site22	Site22_2	30	120	Site46	Site46_2	30	58
Site22	Site22_3	30	240	Site47	Site47_1	30	240
Site23	Site23_1	30	0	Site47	Site47_2	30	41
Site23	Site23_2	30	120	Site48	Site48_1	30	231
Site23	Site23_3	30	240	Site48	Site48_2	30	55
Site24	Site24_1	30	0	Site49	Site49_1	30	252
Site24	Site24_2	30	120	Site49	Site49_2	30	85
Site24	Site24_3	30	240	Site5	Site5_1	30	0
Site25	Site25_1	30	0	Site5	Site5_2	30	120
Site25	Site25_2	30	120	Site5	Site5_3	30	240
Site25	Site25_3	30	240	Site50	Site50_1	30	247
Site26	Site26_2	30	120	Site50	Site50_2	30	65
Site26	Site26_3	30	240	Site6	Site6_1	30	0
Site27	Site27_1	30	0	Site6	Site6_2	30	120
Site27	Site27_3	30	240	Site6	Site6_3	30	240
Site28	Site28_1	30	0	Site7	Site7_1	30	338
Site28	Site28_2	30	120	Site7	Site7_3	30	215
Site28	Site28_3	30	240	Site8	Site8_1	30	27
Site29	Site29_1	30	355	Site8	Site8_2	30	175
Site29	Site29_2	30	75	Site9	Site9_1	30	0
Site29	Site29_3	30	282	Site9	Site9_2	30	120
Site3	Site3_1	30	0	Site9	Site9_3	30	240

Tabla 3-15: Transmisores diseño final

En el apartado 10.4.3 ya vimos la situación de los emplazamientos con un mayor zoom para poder apreciarlos más claramente en las figura 3-32 y 3.32. Vamos a representar en la figura 3-35 una visión global de nuestro diseño final.

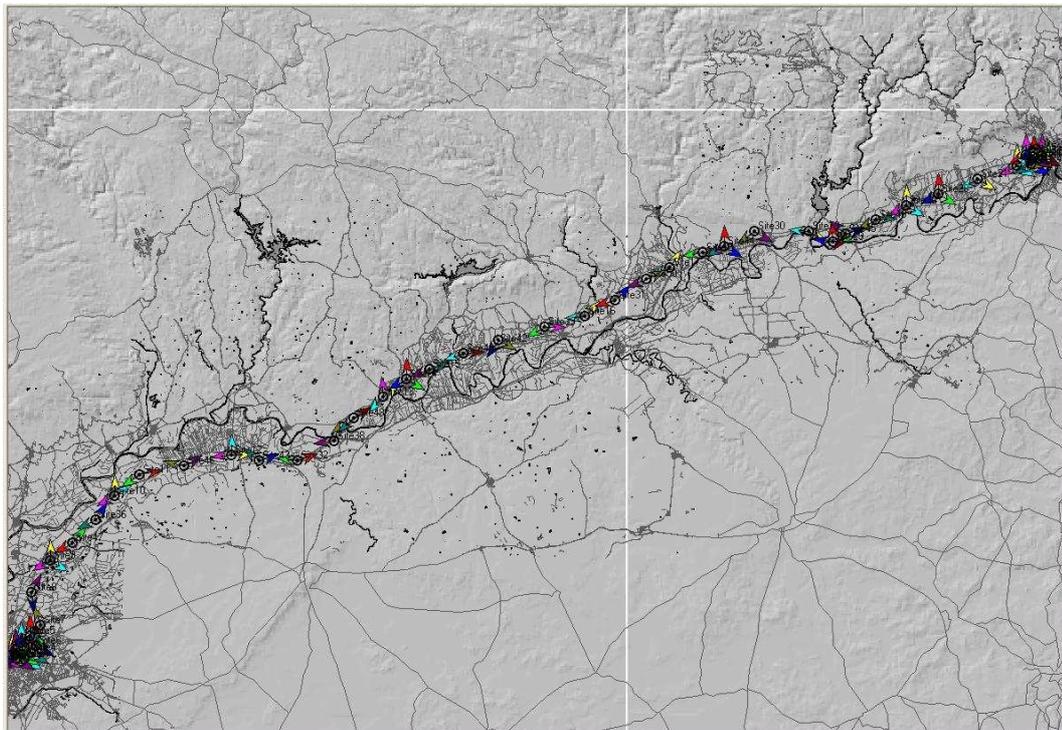


Figura 3-35: Situación emplazamientos final

Por último en la tabla 3-16 vamos a ver que el resultado de las simulaciones con las variaciones aplicadas en nuestra red sigue cumpliendo los objetivos de calidad que nos planteamos en un principio.

TOTAL

Users: 331 (standard deviation 0)
Rate/ downlink: 11,43 Mbps (standard deviation 1,29 Mbps) uplink:
5,91 Mbps (standard deviation 382,34 kbps)

BREAKDOWN PER SERVICE:
Mobile Internet Access:

Users: 81 (standard deviation 9,05)
Rate/ downlink: 9,22 Mbps (standard deviation 1,32 Mbps)
uplink: 3,69 Mbps (standard deviation 495,74 kbps)

Multimedia Messaging Service:

Users: 25 (standard deviation 4,27)
Rate/ downlink: 824,89 kbps (standard deviation 152,18 kbps)
uplink: 832 kbps (standard deviation 241,36 kbps)

Video Conferencing:

Users: 1 (standard deviation 1,29)
Rate/ downlink: 341,33 kbps (standard deviation 197,84 kbps)
uplink: 341,33 kbps (standard deviation 197,84 kbps)

Voice:

Users: 221 (standard deviation 7,62)
Rate/ downlink: 1,05 Mbps (standard deviation 94,93 kbps)
uplink: 1,04 Mbps (standard deviation 87,81 kbps)

REJECTIONS NUMBER: 2 (0,6%)

Pmob > PmobMax: 0
Ptch > PtchMax: 0
Ec/Io < (Ec/Io)min: 2
load saturation: 0
Ch. Elts saturation: 0
Cell power saturation: 0
Multiple causes: 0
Code saturation: 0
Admission rejection: 0

TOTAL

Users: 327 (98,8%) (standard deviation 1,33)

Rate/ downlink: 10,72 Mbps (standard deviation 1,29 Mbps) uplink:
5,84 Mbps (standard deviation 317,69 kbps)

BREAKDOWN PER SERVICE:

Mobile Internet Access:

Users: 79 (97,5%) (standard deviation 8,86)
Rate/ downlink: 8,58 Mbps (standard deviation 1,24 Mbps)
uplink: 3,68 Mbps (standard deviation 503,13 kbps)

Multimedia Messaging Service:

Users: 25 (100%) (standard deviation 4)
Rate/ downlink: 810,67 kbps (standard deviation 159,64 kbps)
uplink: 817,78 kbps (standard deviation 221,25 kbps)

Video Conferencing:

Users: 1 (100%) (standard deviation 1,2)
Rate/ downlink: 298,67 kbps (standard deviation 204,62 kbps)
uplink: 298,67 kbps (standard deviation 204,62 kbps)

Voice:

Users: 220 (99,5%) (standard deviation 7,48)
Rate/ downlink: 1,04 Mbps (standard deviation 92,64 kbps)
uplink: 1,04 Mbps (standard deviation 89,05 kbps)

Tabla 3-16: Resultados simulación configuración final

Los resultados de las simulaciones también se pueden estudiar de forma gráfica. En las figuras 3-36, 3-37 y 3-38 vemos los resultados de las últimas simulaciones. Hemos mostrado la zona de la Estación de Sevilla, la Estación de Córdoba y una parte del trazado de la línea del AVE para que se pueda apreciar la posición de todos los terminales y el estado en el que se encuentran.

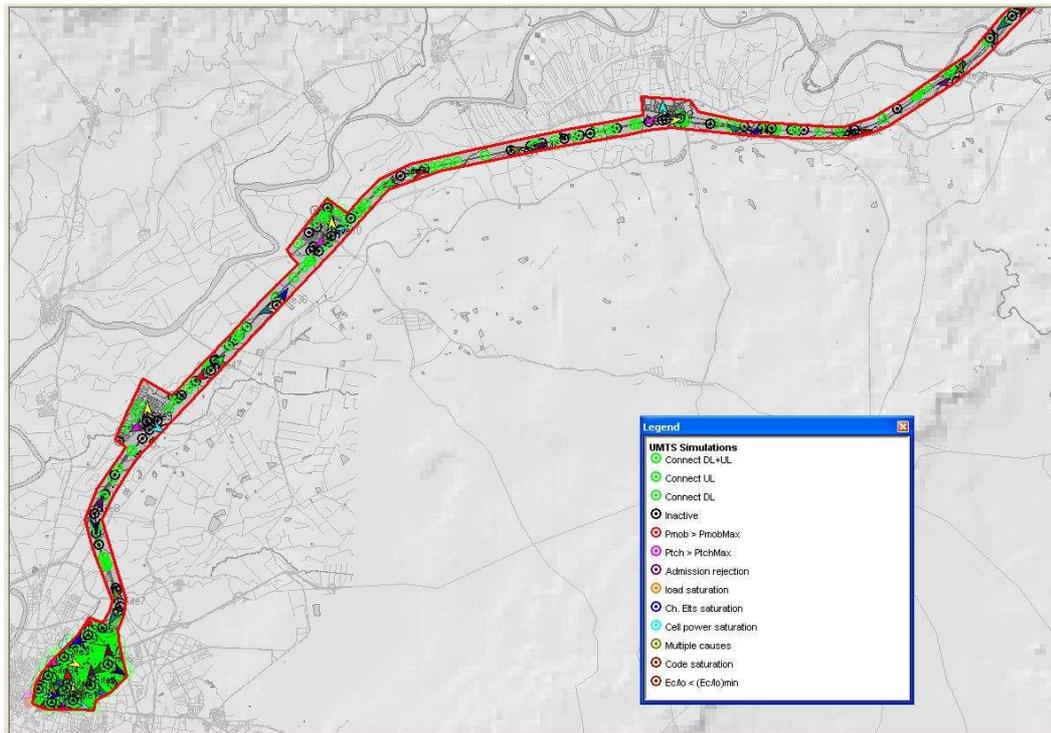


Figura 3-36: Resultados gráficos simulación configuración final

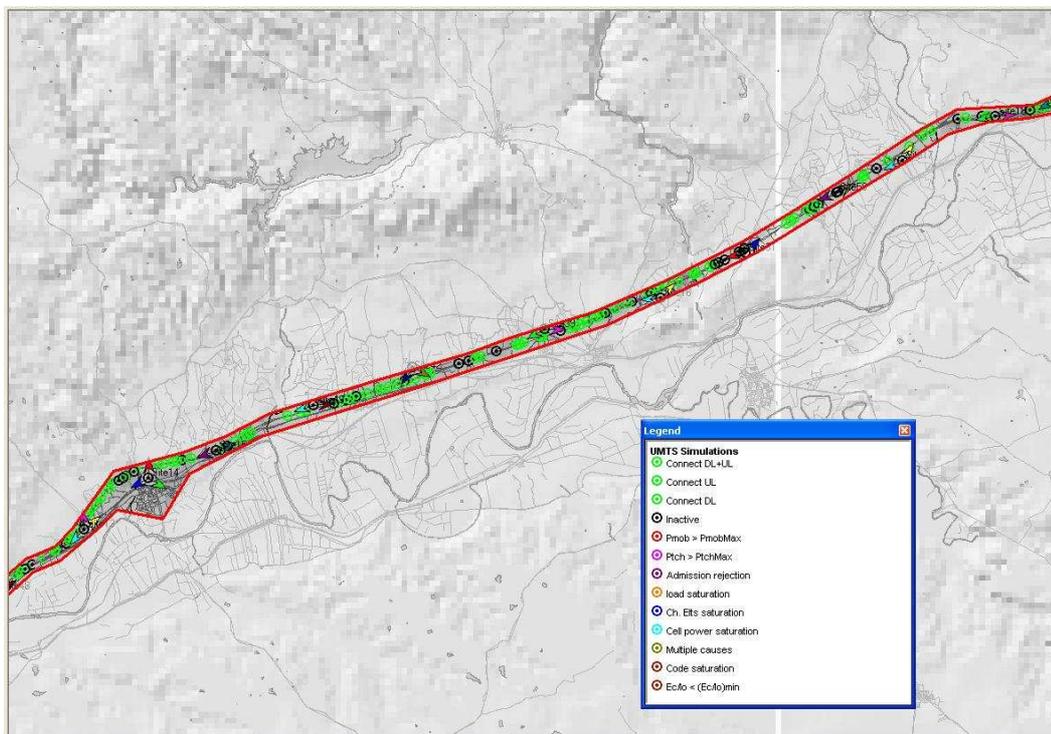


Figura 3-37: Resultados gráficos simulación configuración final

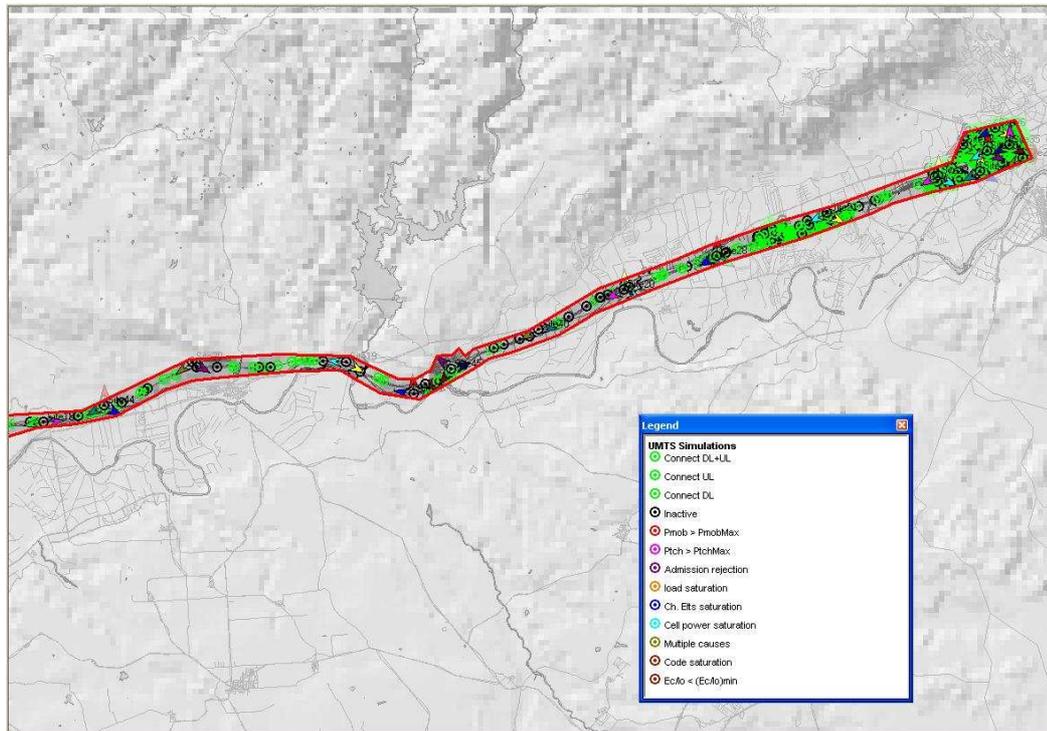


Figura 3-38: Resultados gráficos simulación configuración final

Podemos observar en estas figuras que apenas hay rechazos, tal y como habíamos visto en los datos de las simulaciones.

10.4.5 PREDICCIONES DE COBERTURA

Una vez efectuadas las simulaciones es posible obtener resultados adicionales (predicciones) referidos a la distribución concreta de usuarios generada. En Atoll-UMTS todo estudio de predicción de coberturas se apoya en los resultados de las simulaciones. Además de generar una distribución realista de usuarios de acuerdo con las estadísticas de tráfico, las simulaciones proporcionan, para cada célula, la potencia total empleada en el DL (Total Transmitted Power used) y el factor de carga del UL (UL load factor). Las predicciones operan sobre estas condiciones simuladas de potencia transmitida y de factor de carga del UL.

En este apartado vamos a realizar una serie de estudios de cobertura sobre la red que hemos desplegado, con el objetivo de documentar gráficamente la red y verificar que el diseño es el adecuado.

Los tipos de predicciones que pueden realizarse en Atoll son los siguientes:

- Coverage by transmitter
- Coverage by signal level
- Overlapping
- Downlink total noise
- Pilot reception analysis

- Service area (Eb/Nt) downlink
- Service area (Eb/Nt) uplink
- Effective service area
- Handoff status
- Pilot pollution

Vamos a ir comentando cada una de las predicciones realizadas.

10.4.5.1 Estudios de cobertura por nivel de señal, por transmisor y solapamiento

Las predicciones de cobertura y de solapamiento en el enlace descendente analizan el nivel recibido en el canal piloto, sin tomar en consideración la interferencia. Por esta razón, no es preciso asociar a estas predicciones ninguna simulación

Las predicciones de cobertura por nivel de señal proporcionan una representación gráfica del nivel de señal recibido por un terminal. Se muestra en la figura 3-39. Como en otras ocasiones vamos a representar sólo parte del trazado para que podamos apreciar los datos que nos proporciona la imagen con claridad.

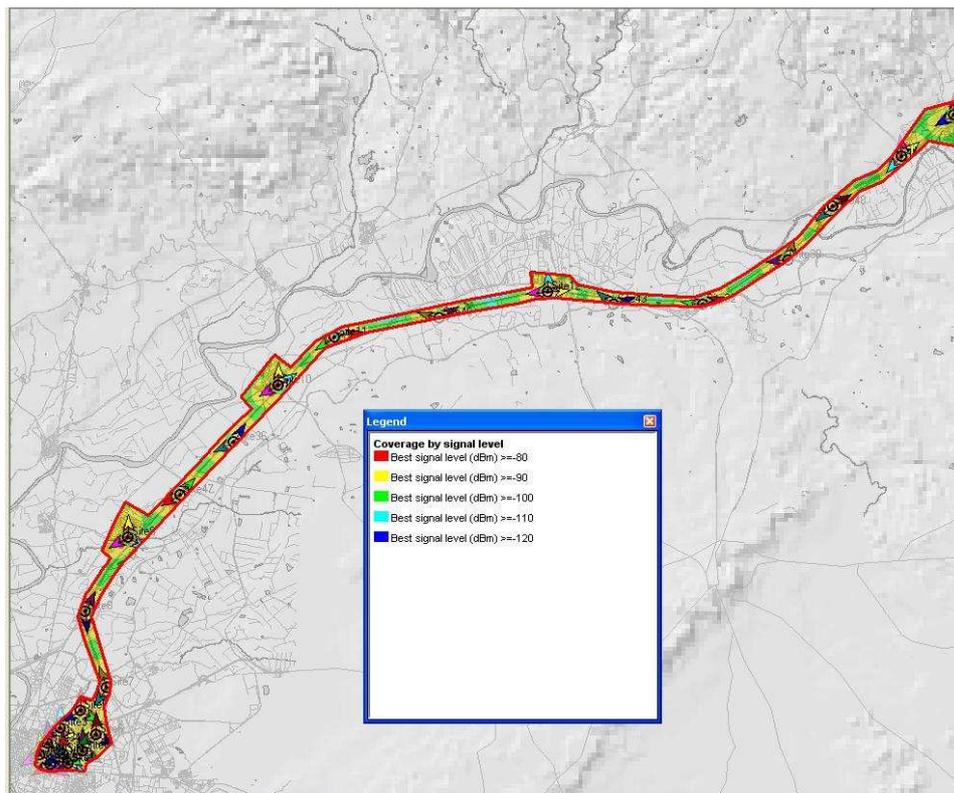


Figura 3-39: Coverage by signal level

Al ser UMTS un sistema limitado por interferencia el nivel de señal no es en principio lo que limita la cobertura. Aún así podemos ver que en nuestro caso tenemos un nivel de señal adecuado en la zona objetivo.

En las predicciones de cobertura por transmisor, Atoll asigna un color diferente a las zonas de cobertura de cada transmisor. En la figura 3-40 podemos ver este estudio.

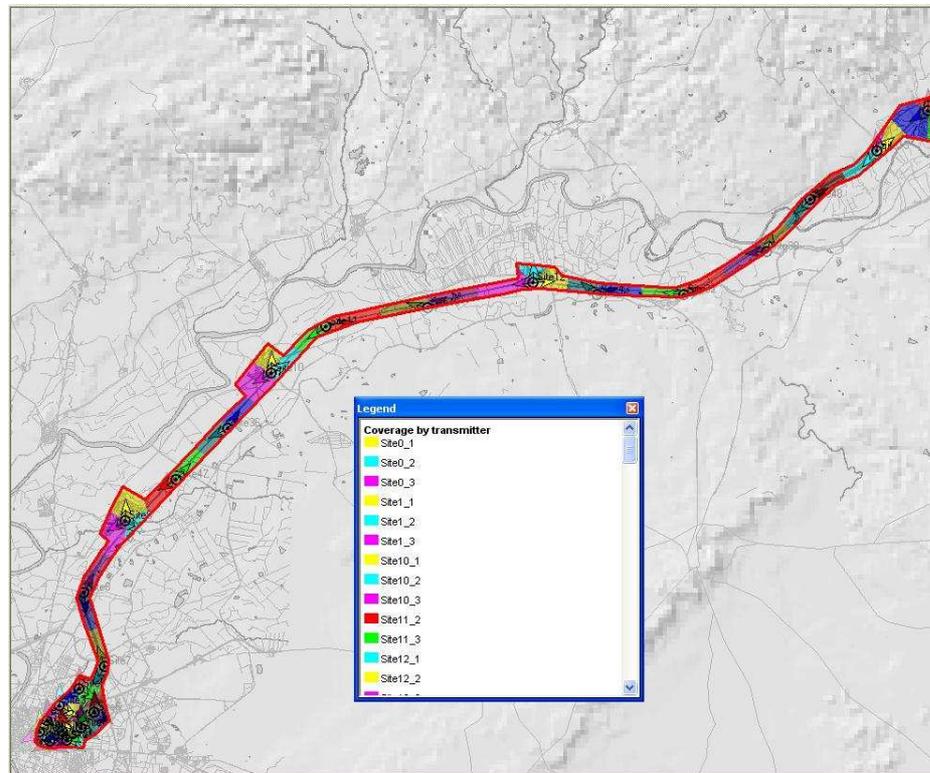


Figura 3-40: Coverage by transmitter

En este estudio hemos podido observar que toda la zona objetivo está cubierta por los distintos transmisores de nuestro diseño.

En el estudio de solapamiento se muestra el número de estaciones base que en cada punto del mapa superan el umbral de potencia de recepción. Nosotros vamos a calcular el solapamiento poniendo como umbral de potencia en recepción -80 dBm.

Con el umbral que hemos puesto de potencia en recepción obtenemos que en la zona de la línea de alta velocidad Sevilla-Córdoba apenas existe solapamiento dada las distancias que hay entre los distintos emplazamientos. En esta memoria hemos representado el resultado para la zona de la estación de Sevilla donde hay una concentración mayor de emplazamientos. Lo podemos observar en la figura 3-41.

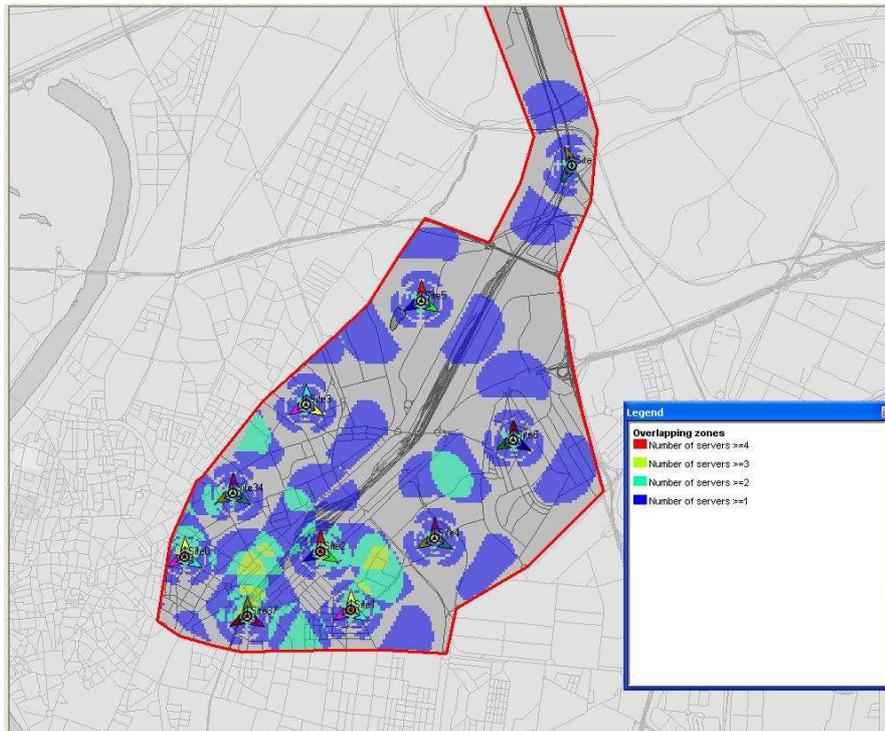


Figura 3-41: Overlapping ($-80 \text{ dBm} \leq \text{Signal level}$)

10.4.5.2 Estudio del nivel de interferencia en el DL

El estudio del nivel de interferencia en el enlace descendente evalúa la interferencia total recibida en dicho enlace, con distintas opciones para mostrar los valores máximo, mínimo, etc, en las diferentes portadoras, en caso de tener varias (en nuestro proyecto hemos usado una única portadora).

Este estudio y los que veremos en apartados anteriores se apoyan en los resultados de las simulaciones, y se realizan para un terminal, servicio y movilidad determinada.

Vamos a realizar dos estudios, uno para el terminal Mobile Phone y el servicio Voice, y otro para el terminal Laptop y el servicio Mobile Internet Access.

En las figuras 3-42 y 3-43 se muestran ambos estudios.

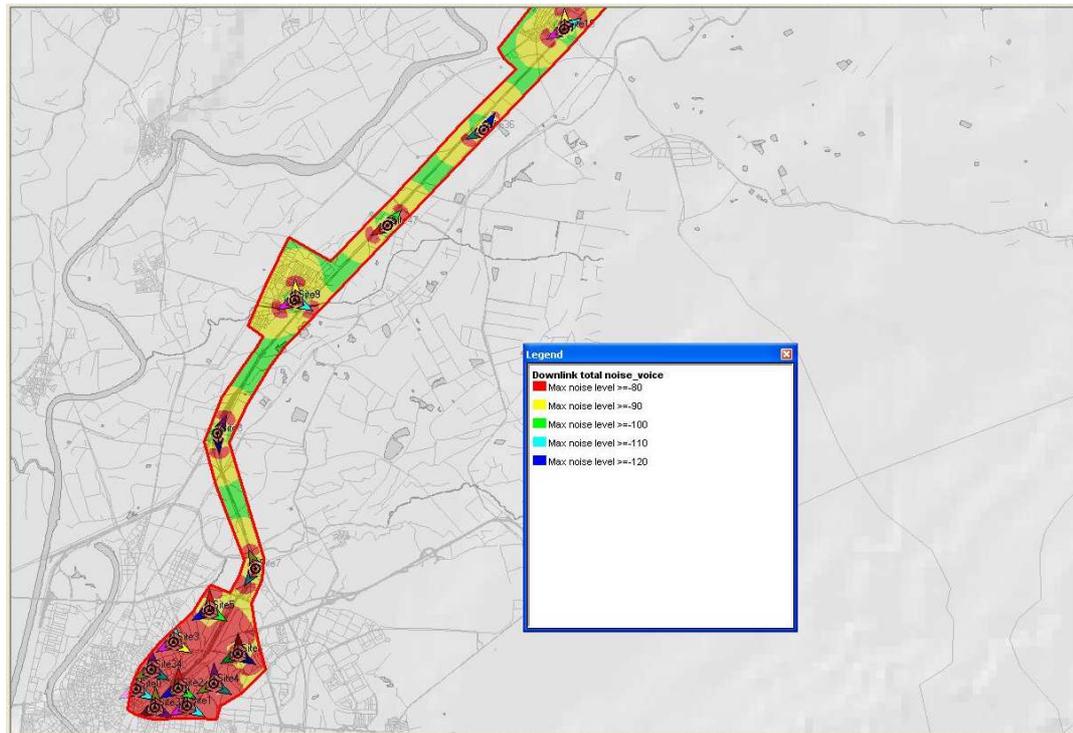


Figura 3-42: Downlink total noise: terminal Mobile Phone, servicio Voice

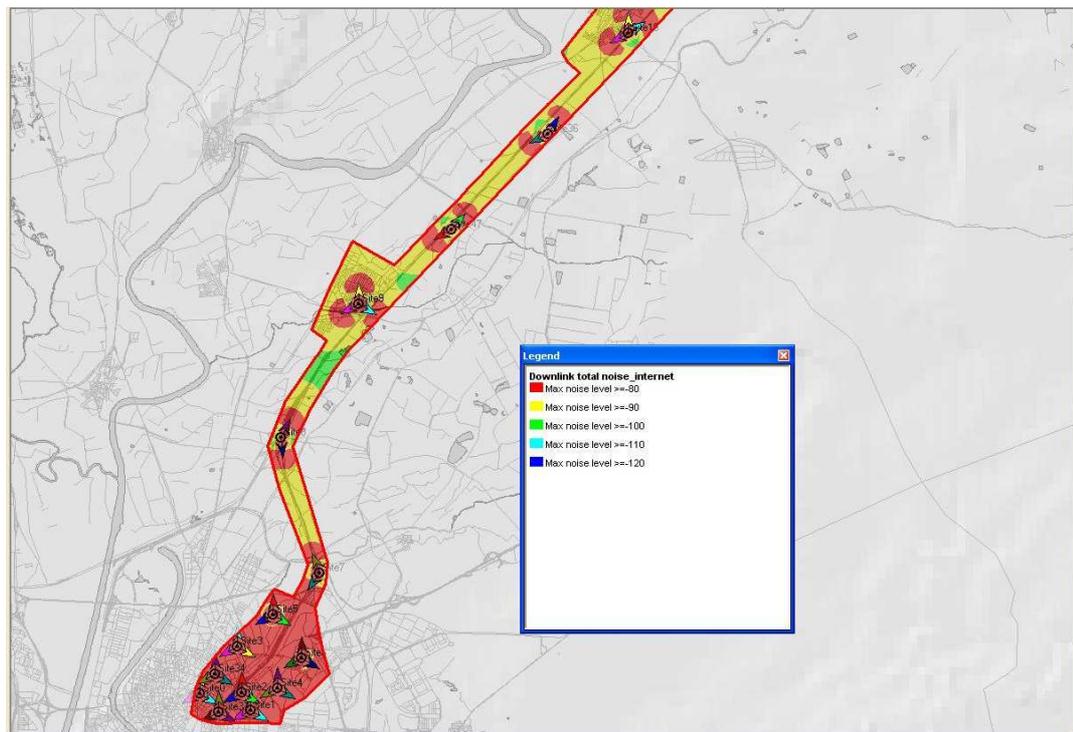


Figura 3-43: Downlink total noise: terminal Laptop, servicio Internet

10.4.5.3 Estudio de la relación señal/interferencia en el canal piloto

En este estudio en cada píxel se sitúa un móvil de prueba del tipo seleccionado y se analiza la relación E_c/I_0 de las señales recibidas, según diferentes criterios seleccionables.

Volvemos a realizar los dos estudios del apartado anterior, servicio Voice con terminal Mobile Phone, y servicio Mobile Internet Access con Laptop, en este caso ambos con movilidad AVE.

En las figuras 3-44 Y 3-45 podemos ver los resultados de estos estudios.

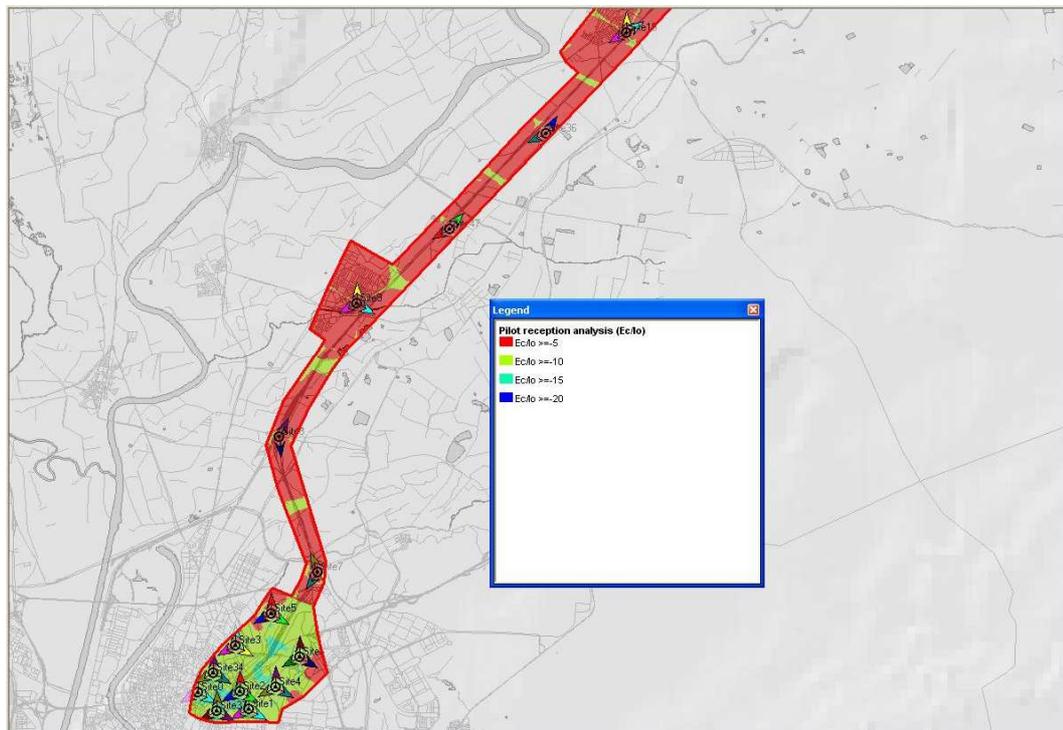


Figura 3-44: Pilot reception analysis (E_c/I_0): terminal Mobile Phone, servicio Voice, movilidad AVE

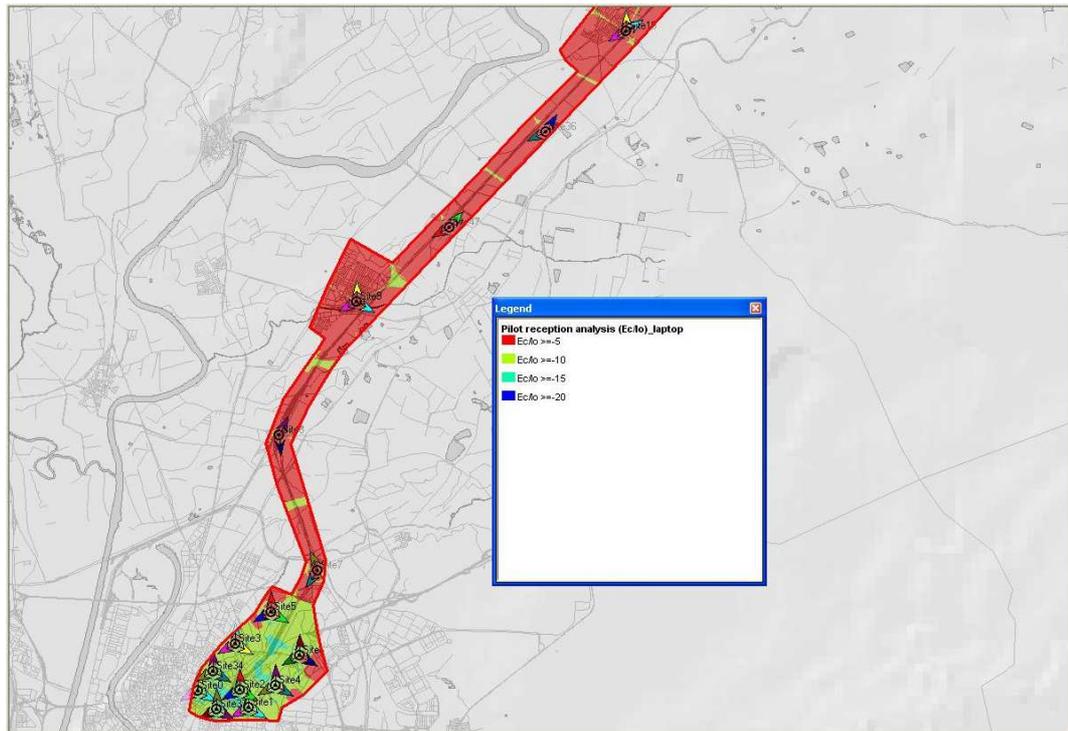


Figura 3-45: Pilot reception analysis (Ec/Io): terminal Laptop, servicio Internet, movilidad AVE

El umbral que se establece para la relación E_c/I_o es -14 dB para todas las movilidades. Vemos que casi toda la zona objetivo está por encima de este umbral.

10.4.5.4 Estudio del área de servicio en el downlink

En el estudio del área de servicio en el DL se evalúa si un móvil de prueba puede obtener servicio en el enlace descendente teniendo en cuenta la limitación de potencia de tráfico de su base o sus bases activas. En este estudio se pueden elegir varios criterios para la representación.

En las figuras 3-46 y 3-47 tenemos representados dos predicciones de este tipo, y en ellas podemos observar que en toda la zona objetivo tendríamos servicio. Como siempre hemos representado sólo una zona de nuestro trazado.

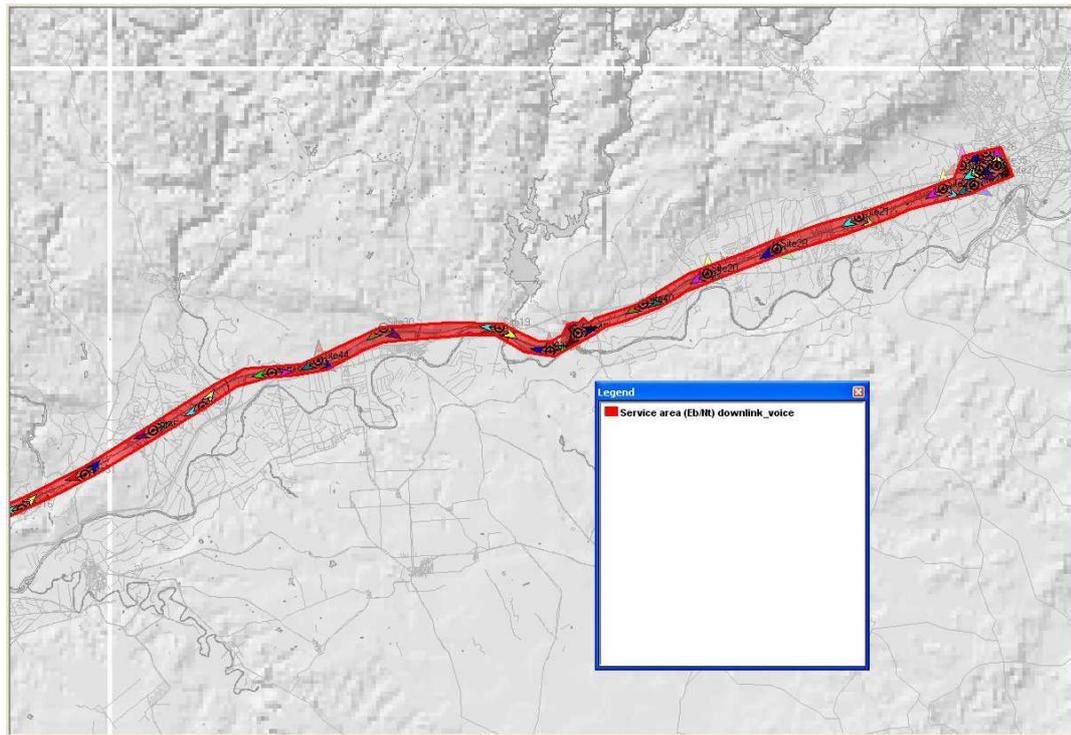


Figura 3-46: Service area (Eb/Nt) DL terminal Mobile Phone, servicio Voice, movilidad AVE

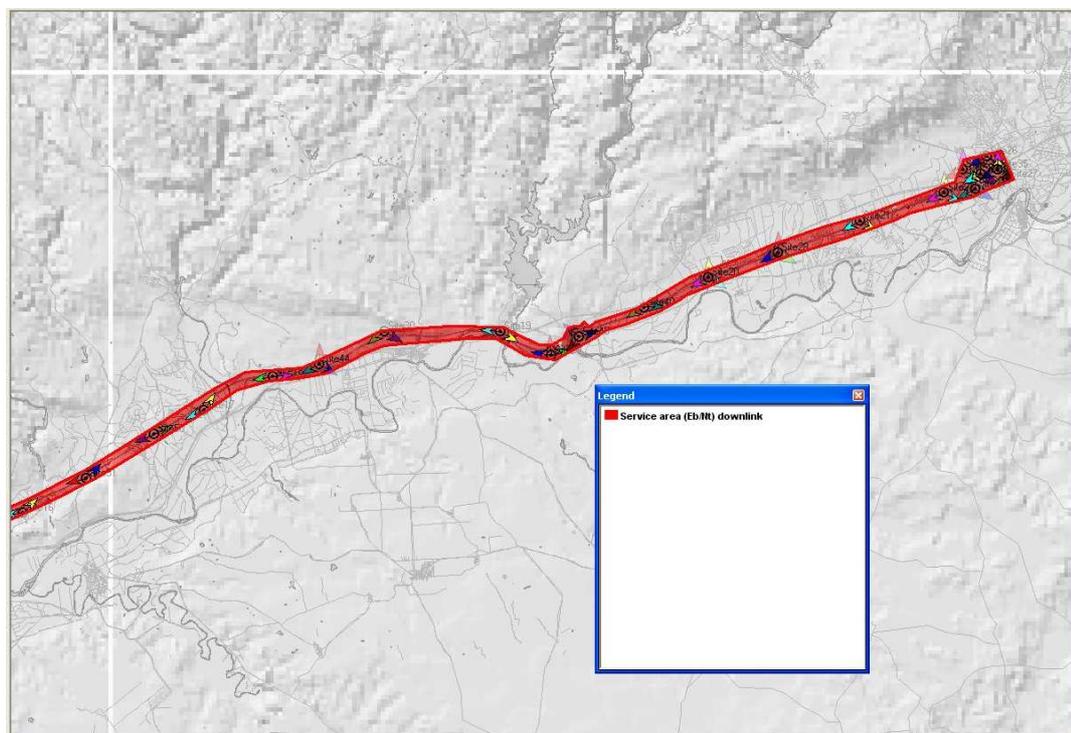


Figura 3-47: Service area (Eb/Nt) DL terminal Laptop, servicio Internet, movilidad AVE

10.4.5.5 Estudio del área de servicio en el uplink

Este estudio, es análogo al anterior pero en el UL. Analiza si el móvil de prueba puede obtener servicio en el UL, teniendo en cuenta la limitación de potencia del terminal móvil.

En las figuras 3-48 y 3-49 vemos el área de servicio para el terminal Mobile Phone con servicio Voice, y el Laptop con servicio Mobile Internet Access, ambos con movilidad AVE.

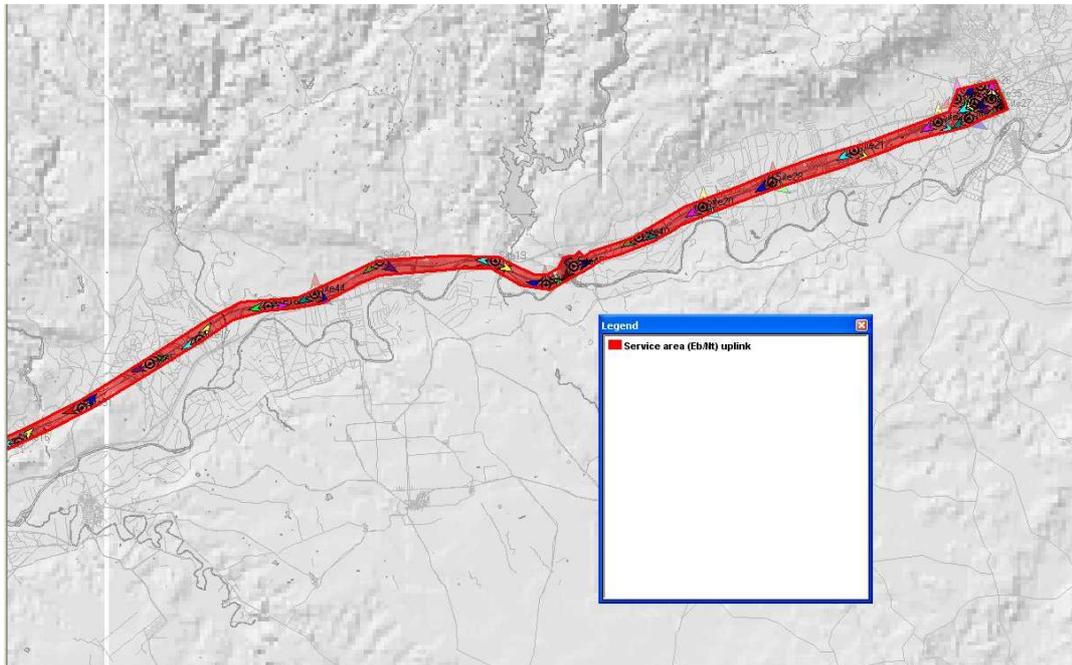


Figura 3-48: Service area (Eb/Nt) UL terminal Mobile Phone, servicio Voice, movilidad AVE

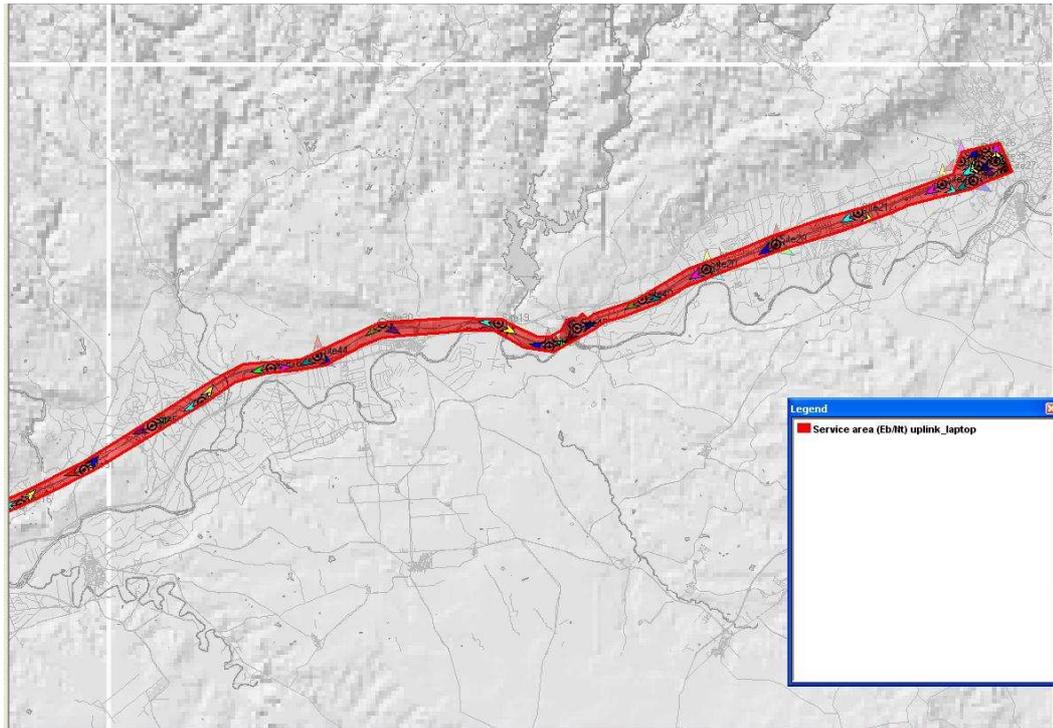


Figura 3-49: Service area (Eb/Nt) UL terminal Laptop, servicio Internet, movilidad AVE

10.4.5.6 Estudio del área de servicio efectiva

El estudio del área de servicio efectiva calcula el área intersección de los estudios del área de servicio en el DL y en el UL.

Podemos observarlo en las figuras 3-50 y 3-51.

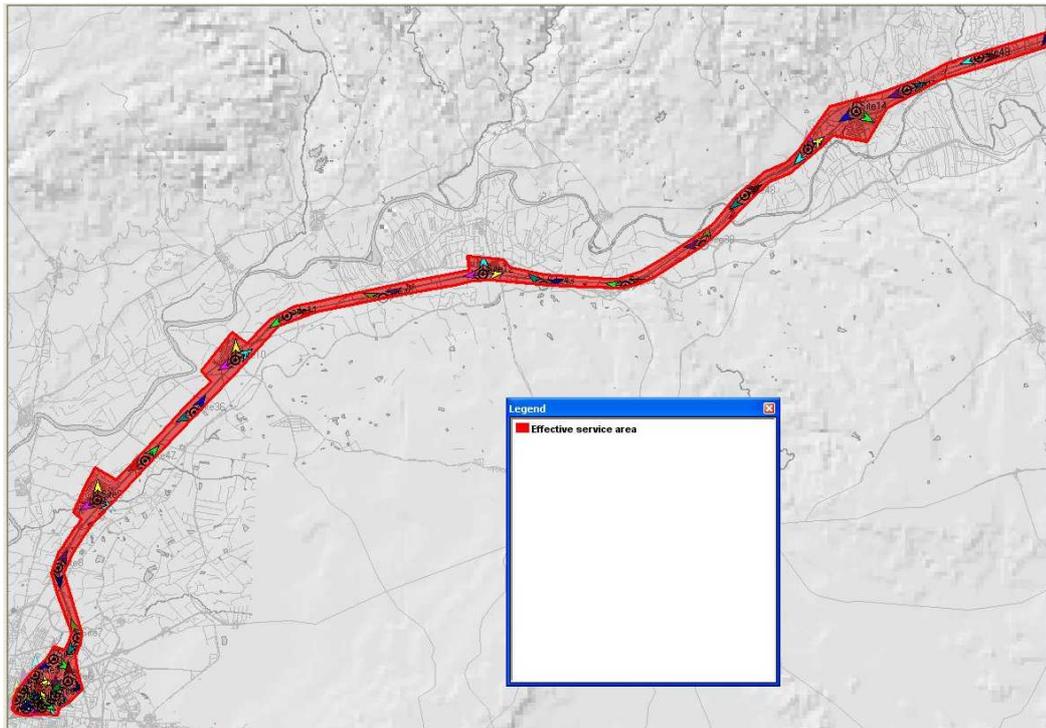


Figura 3-50: Effective service terminal Mobile Phone, servicio Voice, movilidad AVE

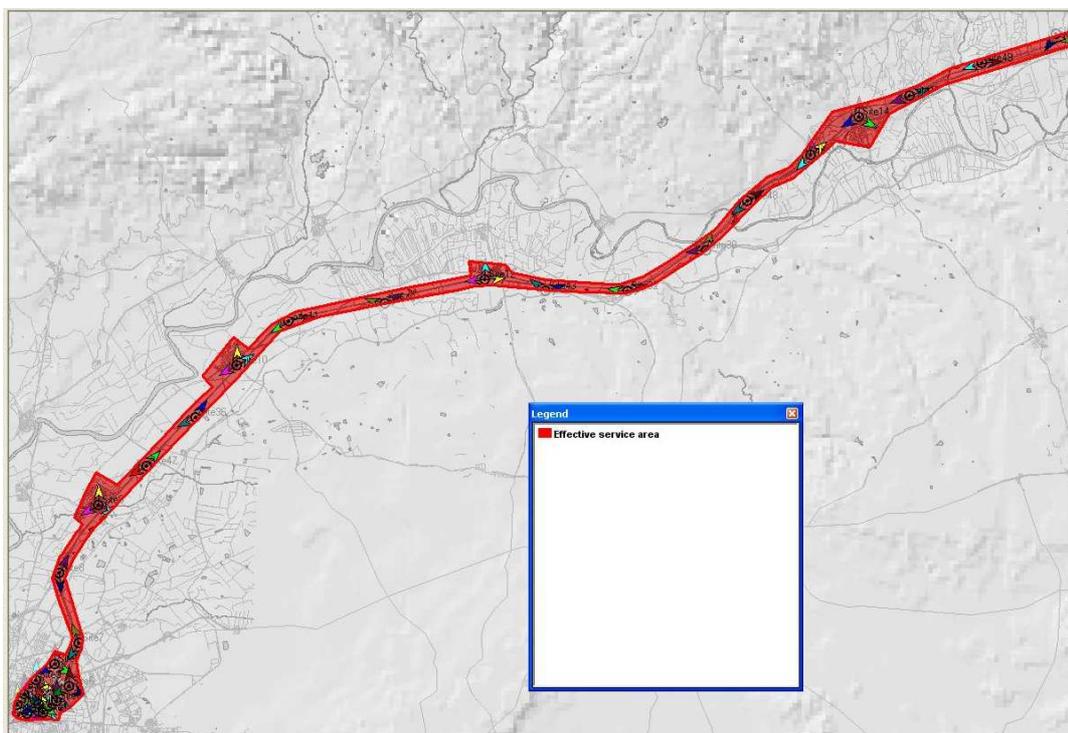


Figura 3-51: Effective service area terminal Laptop, servicio Internet, movilidad AVE

10.4.5.7 Estudio de traspasos

Esta predicción estudia el conjunto activo de un móvil de prueba situado en cada punto del mapa, y lo representa de acuerdo con el criterio seleccionado.

En el sistema UMTS se utiliza un mecanismo de traspaso denominado traspaso gradual, SHO (Soft/Softer Handover) [2]. Gracias a la reutilización universal de las frecuencias, es posible conectar la llamada a la estación candidata al traspaso antes de desconectarla de la estación origen, manteniendo ambos enlaces simultáneamente durante un cierto tiempo. Una llamada puede estar soportada por los tres sectores de una estación base y/o por dos o más estaciones. Cada una de las bases implicadas mantiene el contacto con el móvil hasta que la atenuación hacia una de ellas es excesiva, momento en el que se abandona el enlace con esa base.

En el enlace ascendente, durante el periodo de traspaso gradual, la señal transmitida por el móvil es detectada por las estaciones base involucradas, efectuándose una selección o combinación de las señales demoduladas. En general, para estaciones base situadas en emplazamientos distintos, es más fácil seleccionar la señal de mayor calidad (soft hand-off). Para estaciones base situadas en un mismo emplazamiento, como ocurre en células sectorizadas, la proximidad física permite combinar las señales (softer hand-off) antes de la demodulación.

El conjunto de bases con el que un móvil tiene contacto es lo que se conoce como conjunto activo (Active Set). El número máximo de estaciones que pueden formar parte del conjunto activo de un móvil (Active Set Size) depende del tipo de terminal.

El criterio que se utiliza para que una estación forme parte del conjunto activo de un terminal está basado en el concepto de umbral relativo de traspaso (AS Treshold), definido para cada célula en la tabla Transmitters|Cells|Open Table. Los transmisores que constituyen el conjunto activo de un móvil deben cumplir las siguientes condiciones:

- Deben utilizar la misma frecuencia
- La calidad de la señal piloto (E_c/I_o) de la mejor estación debe superar un umbral definido para la movilidad del terminal (en nuestro caso -14 dB).
- Los pilotos de las demás bases del conjunto activo deben tener una relación E_c/I_o que no caiga por debajo del umbral de traspaso relativo a la mejor estación.
- Deben ser estaciones vecinas de la mejor base, si se ha seleccionado la opción AS restricted to neighbours en las características de los equipos.

En las figuras 3-52 y 3-53 se muestran los resultados de este estudio.

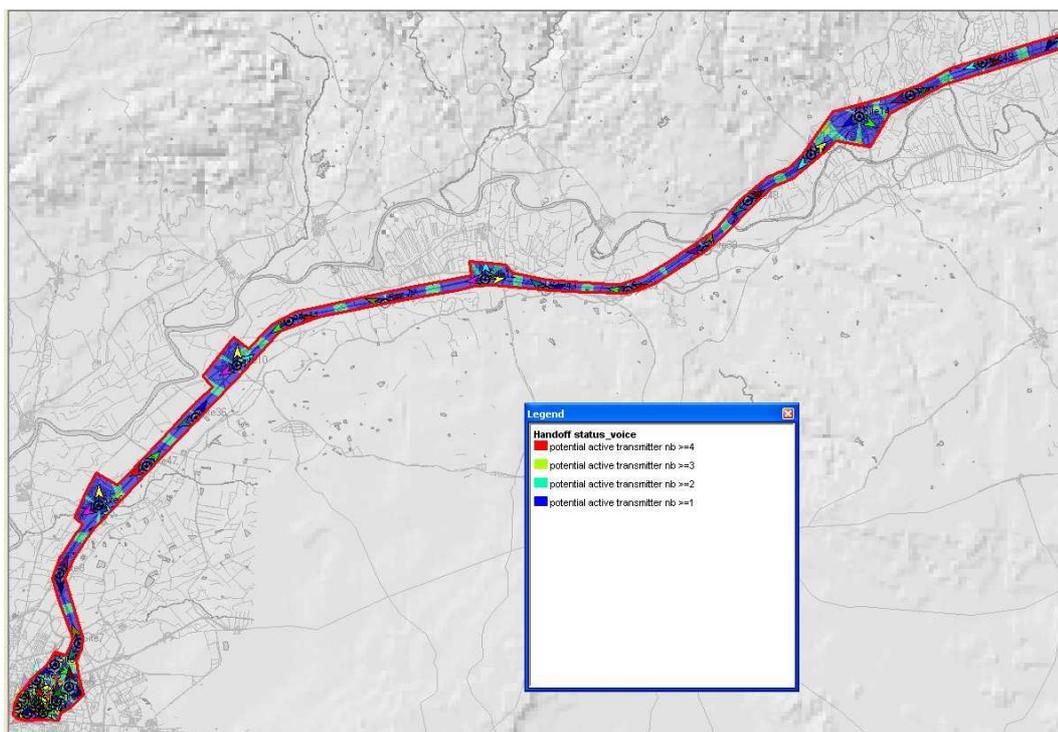


Figura 3-52: Handoff status terminal Mobile Phone, servicio Voice, movilidad AVE

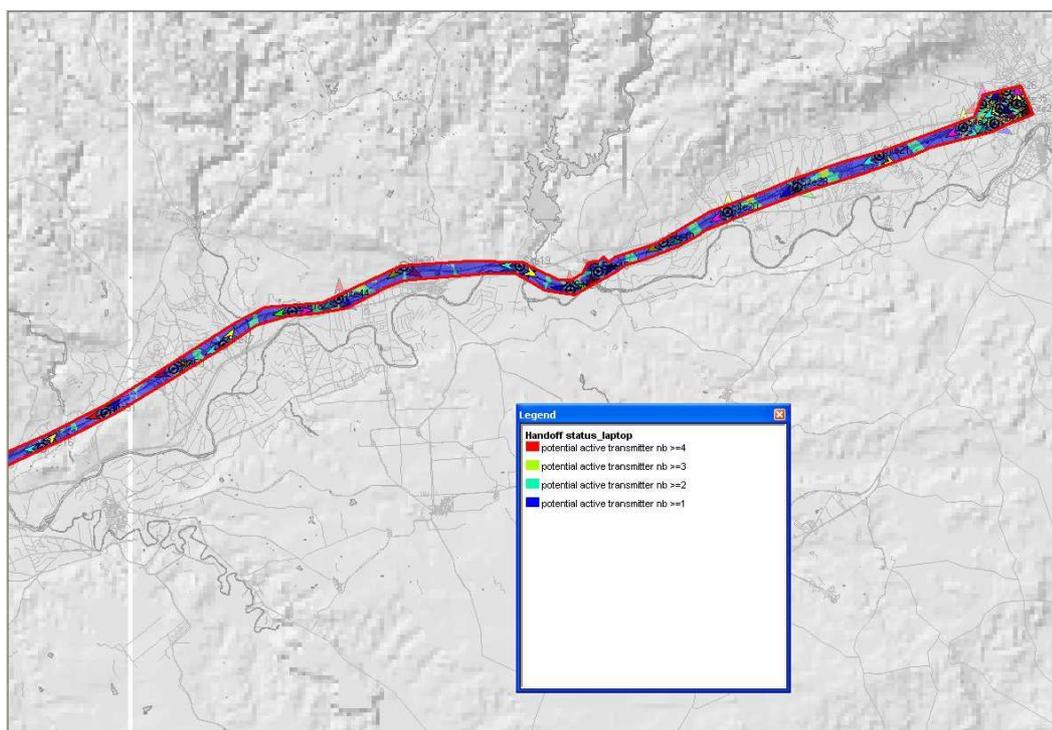


Figura 3-53: Handoff status terminal Laptop, servicio Internet, movilidad AVE

10.4.5.8 Estudio de interferencia en el canal piloto

En el estudio de interferencia en el canal piloto en cada píxel se indica si el número de bases que se reciben con suficiente E_c/I_0 es “excesivo”, en el sentido de que se supere el número máximo de bases activas permitido por el terminal móvil elegido.

En las figura 3-54 vemos los resultados de este estudio para el terminal Laptop servicio Mobile Internet Access y movilidad AVE.

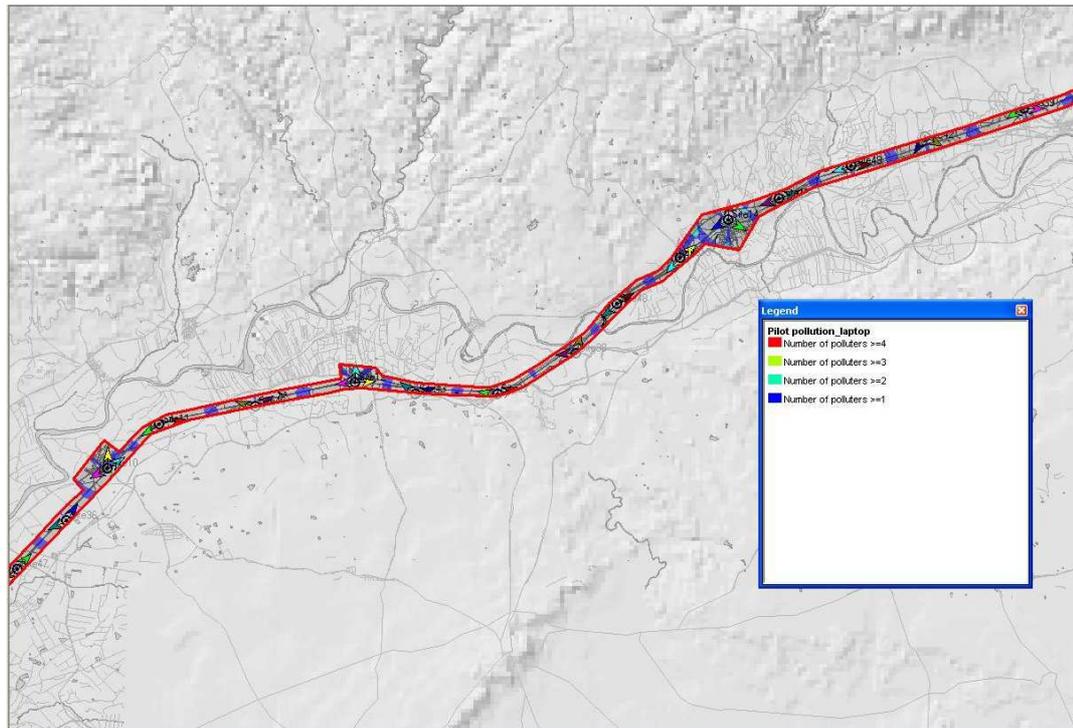


Figura 3-54: Pilot pollution servicio Internet, terminal laptop, movilidad AVE

En figura 3-55 podemos observar el estudio para un Mobile Phone, servicio Voice y movilidad Pedestrian.

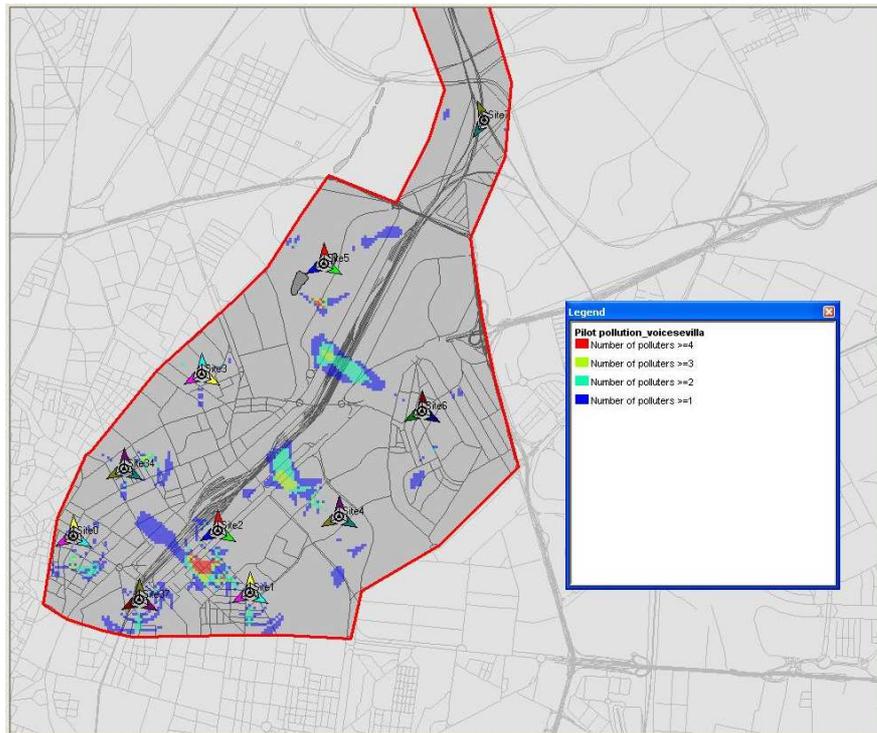


Figura 3-55: Pilot pollution servicio voice, terminal Mobile Phone, movilidad pedestrian

10.4.6 ASIGNACIÓN DE VECINDADES

Una vez diseñada nuestra red UMTS Atoll proporciona herramientas para el establecimiento de vecindades.

El establecimiento de vecindades se puede realizar de forma manual o automática, imponiendo determinadas restricciones sobre las células que pueden formar una vecindad. Una vez establecidas las relaciones de vecindad, Atoll facilita la visualización de células vecinas sobre el mapa, lo que permite una cómoda gestión.

Nosotros vamos a realizar la asignación automática de vecindades. El algoritmo de asignación automática de células vecinas está basado en los siguientes parámetros:

- Número máximo de células vecinas. Se puede establecer globalmente o de forma individual en la tabla de células.
- Max Inter-Site distance, es la máxima distancia que puede existir entre la célula de referencia y la célula candidata a vecina.
- Solapamiento entre las zonas de cobertura de la célula de referencia y una célula candidata a vecina. El concepto de cobertura se refiere aquí al nivel del canal piloto, o a su relación señal/interferencia (E_c/I_o).
- Potencia que contribuye a la interferencia total.

Adicionalmente se pueden establecer las siguientes restricciones adicionales:

- Forzar que todas las células del mismo emplazamiento sean vecinas
- Forzar que las células geográficamente adyacentes sean vecinas
- Forzar la simetría en las relaciones de vecindad
- Establecer parejas excepcionales

Para realizar la asignación automática de células vecinas, se utiliza el comando Transmitters|Cells|Neighbours|Automatic Allocation.

En la figura 3-56 podemos observar los parámetros que hemos elegido para la asignación de vecinas en nuestra red.

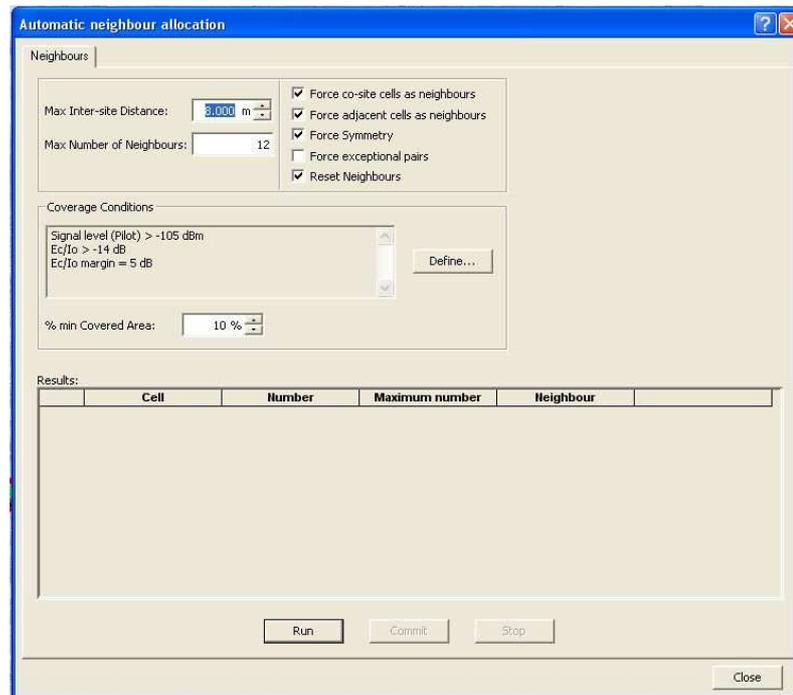


Figura 3-56: Automatic Neighbour allocation

En la zona de la línea del AVE nuestros emplazamientos están muy alejados entre sí, (alrededor de 6000 o 7000 m) no así en las zonas de las estaciones de Sevilla y Córdoba. Para asegurar que a las células pertenecientes a las estaciones de la línea del AVE se les asignen vecindades tenemos que aumentar la distancia máxima entre emplazamientos. Y para evitar que las células que se encuentran en las zonas urbanas de las estaciones de trenes de Sevilla y Córdoba tengan como vecinas a células que se encuentren muy alejadas hemos puesto como número máximo de vecinos, 12.

Con estas restricciones Atoll genera una tabla con todas las vecinas por célula, que dada su magnitud no vamos a incluir en esta memoria.

10.4.7 ASIGNACIÓN DE CÓDIGOS PRIMARIOS DE ALEATORIZACIÓN

Al igual que la asignación de vecindades Atoll proporciona herramientas para la asignación de códigos primarios de aleatorización (primary scrambling codes).

Los códigos de aleatorización permiten separar unas células de otras. Es recomendable asignar códigos diferentes a una célula dada y a todas las células pertenecientes a su lista de vecinas. La asignación se puede hacer de forma manual para cada célula, o de forma automática sobre todas las células o sobre un grupo de células. Dependiendo de la estrategia de asignación, se pueden imponer diversas restricciones sobre los grupos de códigos y dominios, definir parejas excepcionales, distancias y vecindades. En todo momento es posible comprobar la consistencia de la asignación de códigos actual sobre la red bajo estudio.

En UMTS existen 512 códigos de aleatorización que se distribuyen en 64 clusters de 8 códigos. Los clusters se numeran del 0 al 63, y los códigos del 0 al 511. Si realizamos la asignación de manera automática, Atoll proporciona una herramienta de asignación basada en un algoritmo que tiene en cuenta la definición de grupos y dominios de códigos, así como restricciones adicionales basadas en la lista de células vecinas, segundas células vecinas, criterios de mínima distancia y parejas excepcionales.

Nosotros vamos a realizar la asignación automática de códigos. El primer paso es crear un dominio de códigos para Atoll, con el comando Transmitters|Cells|Primary Scrambling Codes|Domains. El dominio que se ha usado en el proyecto es el representado en la figura 3-57. Para llegar a este dominio fuimos realizando iteraciones añadiendo grupos con 6 códigos cada uno hasta que el algoritmo que ejecuta Atoll nos devolvió un resultado adecuado.

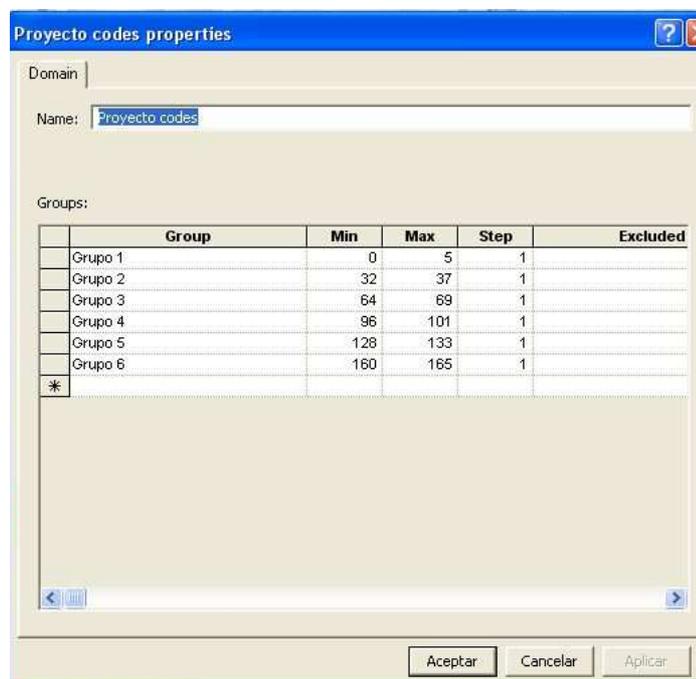


Figura 3-57: Domain Proyecto codes

Antes de ejecutar el algoritmo de asignación automática hay que asignar a todas las células el dominio que hemos creado en el campo Scrambling Code Domain. Una

vez hecho esto podemos iniciar la herramienta de asignación automática de códigos, seleccionando Transmitters|Cells|Primary Scrambling Codes|Automatic Allocation. En el cuadro de dialogo asociado, se pueden seleccionar los parámetros que el algoritmo toma en consideración:

- Existing neighbours: utilizando la tabla de vecindades, una célula no puede tener el mismo código de aleatorización que sus células vecinas, y entre éstas todos los códigos han de ser diferentes.
- Second neighbours: la condición anterior se extiende a las células vecinas de las vecinas.
- Additional Ec/Io conditions: todas las estaciones que pertenecen al conjunto activo de la célula de referencia, en la zona en la que ésta proporciona la mejor señal, deben tener códigos distintos.
- Default Reuse Distance: mínima distancia a partir de la cual se pueden reutilizar códigos.

En la figura 3-58 podemos observar los parámetros que hemos tenido en cuenta en nuestro proyecto.

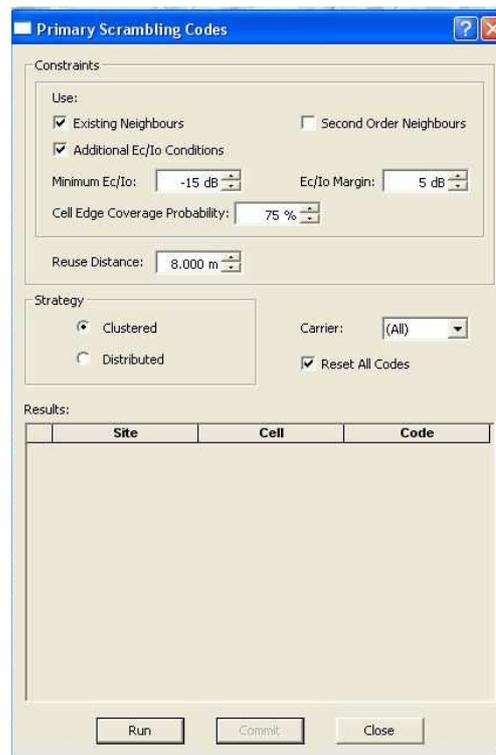


Figura 3-58: Primary Scrambling codes Automatic allocation

En la tabla 3-17 vemos los códigos de scrambling asignados automáticamente por Atoll.

Transmitter	Primary scrambling code	Transmitter	Primary scrambling code	Transmitter	Primary scrambling code
Site0_1	0	Site23_1	32	Site39_2	33
Site0_2	2	Site23_2	33	Site39_3	0
Site0_3	36	Site23_3	34	Site4_1	129
Site1_1	37	Site24_1	35	Site4_2	130
Site1_2	64	Site24_2	36	Site4_3	131
Site1_3	65	Site24_3	5	Site40_2	32
Site10_1	33	Site25_1	37	Site40_3	34
Site10_2	1	Site25_2	64	Site42_2	1
Site10_3	32	Site25_3	65	Site42_3	32
Site11_2	0	Site26_2	66	Site43_2	5
Site11_3	35	Site26_3	67	Site43_3	34
Site12_1	0	Site27_1	68	Site44_1	4
Site12_2	32	Site27_3	69	Site44_2	5
Site12_3	3	Site28_1	0	Site44_3	32
Site13_1	32	Site28_2	1	Site45_1	3
Site13_2	33	Site28_3	37	Site45_2	35
Site13_3	1	Site29_1	4	Site45_3	33
Site14_1	0	Site29_2	2	Site46_1	2
Site14_2	2	Site29_3	37	Site46_2	4
Site14_3	3	Site3_1	3	Site47_1	4
Site15_1	4	Site3_2	69	Site47_2	34
Site15_2	34	Site3_3	96	Site48_1	34
Site16_1	5	Site30_2	0	Site48_2	5
Site16_3	2	Site30_3	3	Site49_1	5
Site17_1	1	Site31_1	32	Site49_2	33
Site17_2	33	Site31_2	4	Site5_1	4
Site18_2	34	Site32_2	2	Site5_2	33
Site18_3	2	Site32_3	1	Site5_3	132
Site19_2	36	Site34_1	97	Site50_1	0
Site19_3	1	Site34_2	98	Site50_2	3
Site2_1	66	Site34_3	99	Site6_1	34
Site2_2	67	Site35_1	96	Site6_2	133
Site2_3	68	Site35_2	97	Site6_3	160
Site20_1	36	Site35_3	98	Site7_1	5
Site20_2	4	Site36_2	5	Site7_3	35
Site20_3	5	Site36_3	3	Site8_1	1
Site21_2	3	Site37_1	100	Site8_2	32
Site21_3	2	Site37_2	101	Site9_1	33
Site22_1	0	Site37_3	128	Site9_2	0
Site22_2	1	Site38_1	4	Site9_3	2
Site22_3	4	Site38_3	0		

Tabla 3-17: Asignación códigos de scrambling