

HERRAMIENTA DE INNOVACIÓN DOCENTE PARA EL CÁLCULO DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA EN LA TITULACIÓN DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

J. GUTIÉRREZ-MEANA¹, J.Á. MARTÍNEZ-LORENZO² Y F. LAS-HERAS¹

¹Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oviedo. España.

jmeana@tsc.uniovi.es, flasheras@tsc.uniovi.es.

²The Gordon CenSSIS. Northeastern University. Boston, MA. USA.

jmartine@ece.neu.edu.

La herramienta presentada se basa en un método de alta frecuencia para la predicción de cobertura radioeléctrica en sistemas de comunicaciones vía radio. Destaca su interfaz gráfica amigable que posibilita la selección del escenario de trabajo; los parámetros relativos a la caracterización de las estaciones base (posición, apuntamiento, diagrama de radiación) y diferentes modalidades de representación de resultados. Su uso no se restringe a complementar actividades docentes ligadas a redes de telefonía móvil y al fenómeno de propagación de ondas, sino que se extiende al ámbito ingenieril.

1. Introducción

La importancia de que el alumno se familiarice con herramientas de cálculo, metodologías que quizá no son abordables desde el punto de vista académico por su complejidad o limitaciones temporales del curso, lleva a buscar nuevas fórmulas docentes. De ellas, si son cuidadosamente seleccionadas, será posible extraer ideas, experiencias, conceptos que quedarán fijados con menor dificultad que buena parte de los desarrollos matemáticos expuestos de una manera más tradicional.

En el marco de la Ingeniería de Telecomunicación crece el interés por el empleo de herramientas software para la complementación desde un enfoque práctico de determinadas temáticas. Es el caso de las herramientas de cálculo de propagación radioeléctrica y su aplicación al cálculo de coberturas en sistemas celulares y de difusión. En particular, en las asignaturas de “Radiación y Radiopropagación” y “Comunicaciones Móviles” (Ingeniería de Telecomunicación) e “Introducción a las Comunicaciones Móviles” (Ingeniería Técnica de Telecomunicación) de la Universidad de Oviedo, se ha estimado la conveniencia de introducir en su temario práctico el uso de una herramienta para que el alumno adquiera competencias de análisis y diseño de sistemas de comunicaciones inalámbricas mediante técnicas y modelos de propagación en entornos urbanos y rurales.

Es también objetivo la familiarización, por parte del alumno, con herramientas software de aspecto y funcionalidades similares a las que utilizarán en su desarrollo profesional. Si bien es la misma herramienta, su utilización en las diferentes asignaturas mencionadas difiere en la forma de enfocar las prácticas a realizar en cada una de ellas. Así, mientras en la de “Radiación y Radiopropagación”, se emplearán las funcionalidades que permitan evaluar al alumno las técnicas de alta frecuencia, sus diferentes contribuciones (rayo directo, reflexiones de primer orden, difracciones, dobles efectos), sus limitaciones, así como el efecto de la tierra y obstáculos geográficos y de otro tipo, en las otras asignaturas se pretende que el alumno adquiera habilidades en el diseño de sistemas celulares, optimizando posiciones

de estaciones base, potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) de las mismas, diagramas de antenas, en aras de ganar experiencia en el campo de la simulación para aquellos alumnos cuyo desarrollo profesional se enmarcará en algún momento en el ámbito de las comunicaciones móviles.

El concepto de cobertura radioeléctrica que se maneja en este artículo se puede definir como un estudio de niveles de densidad de potencia o campo eléctrico en un entorno dado y su comparación con un umbral de funcionamiento de los sistemas receptores/transmisores. Realmente se trata de una decisión binaria (supera o no ese umbral), aunque la forma de presentación es usualmente más elaborada.

2. Objetivos

Además de los objetivos generales docentes comentados en la anterior sección y que deben constituir el marco que encuadra el resto de objetivos, el desarrollo del software propio que aquí se presenta surge de un proyecto de investigación ante la necesidad de analizar de un modo más preciso que mediante métodos empíricos existentes (basados en campañas de medidas) la distribución de niveles de campo electromagnético en diferentes entornos, urbanos o rurales. Una vez fijados los fundamentos matemáticos y la formulación de la metodología a emplear, se vio la necesidad de una interacción rápida entre la herramienta y el usuario más allá de la manipulación del código, lo que dio lugar a pensar en una interfaz gráfica y su utilización desde una perspectiva docente.

Los principales objetivos estipulados fueron la alta completitud de la información recogida junto con la fácil navegabilidad entre las diferentes ventanas que la constituyen. Esto ayuda a que, en cada una de ellas, sea posible fijar una serie de parámetros, todos ellos interrelacionados, de modo que el efecto de variación en los mismos pueda ser fácilmente identificado y apreciado a través de las distintas fases.

Desde el prisma del docente, debe quedar evidencia de la importancia de la orografía del terreno en la evaluación de los niveles de campo y el contraste con métodos empíricos en los que la distribución de potencia es claramente más homogénea. También debe resaltarse el efecto de fenómenos de reflexión y difracción sobre áreas que no son vistas desde la propia estación base, así como la relación de niveles cuando sí existe una incidencia directa. Los ejemplos de aplicación que se describen más adelante proponen una hoja de ruta para que todos los puntos anteriores sean patentes durante las sesiones de prácticas.

3. Funcionalidades de la herramienta de cálculo de cobertura

La herramienta de evaluación de cobertura radioeléctrica ha sido desarrollada en el entorno de programación de Matlab [1]. Las posibilidades del mismo en lo referente, no sólo a capacidad de cálculo y librerías específicas, sino también en lo concerniente a representación de resultados han sido determinantes para su elección. Además permite el diseño de interfaces gráficas atractivas y sencillas desde el punto de vista del programador, así como la inclusión de códigos en lenguaje Fortran, C o C++, que permite la aceleración de las instrucciones más sensibles del código.

3.1. Núcleo de cálculo

El núcleo de cálculo de la herramienta contempla aquellas rutinas cuyo coste computacional, bien sea por la operación en sí misma o por el número de iteraciones que se requiere, es elevado.

Uno de los bloques que alberga es el de resolución del problema de cálculo de visibilidades, donde dado un punto fuente, uno de observación y una geometría, se debe determinar si existe línea de visión directa entre los dos primeros. Esta es una tarea ampliamente abordada en diferentes ámbitos de la

computación como reconstrucción de escenas o videojuegos y que en esta herramienta se solventa haciendo uso de la implementación software del Método Pirámide [2].

Por otro lado, las rutinas de cálculo de niveles de campo se fundamentan en una evaluación asintótica de las ecuaciones de Maxwell mediante el método *Modified Equivalent Current Approximation* (MECA) [3], que determina unas corrientes equivalentes, eléctricas y magnéticas, sobre la superficie. Su amplitud depende de la inclinación con que la onda incide sobre la interfaz; el campo magnético incidente y su polarización. La fase varía linealmente con la dirección de propagación. Las citadas corrientes radian sobre los puntos de observación vistos [4] para calcular los niveles de campo eléctrico y magnético, a partir de los cuales se halla la densidad de potencia.

3.2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica ha sido pensada para cumplir con los preceptos de sencillez, claridad, fácil navegación y visualización óptima de resultados. Está compuesta por ocho ventanas específicas ligadas al cálculo de cobertura junto con las generalistas de almacenamiento/carga de datos.

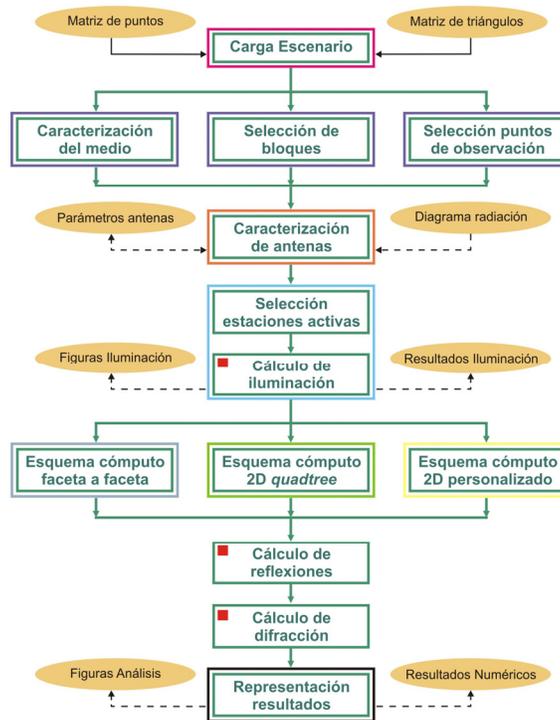


Figura 1. Diagrama de bloques de la interfaz gráfica.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques del software, donde cada uno de los elementos recuadrados en un color diferente hace alusión a una ventana distinta. Del mismo modo, se resaltan por medio de elipses las interacciones de entrada/salida (en función del sentido de la flecha) basadas en intercambio de datos por fichero. Aquellos trazos discontinuos implican una interacción opcional, mientras que los continuos denotan obligatoriedad. Por otro lado, las cajas marcadas con un cuadrado rojo son aquellas que concentran las operaciones propias de cálculo de visibilidades y cómputo de niveles de campo electromagnético.

El proceso que se inicia en la ventana principal de la herramienta sigue una estructura prácticamente lineal hasta la obtención de resultados. Esto hace que desde el comienzo sea cómodo asimilar el esquema lógico de determinación de cobertura, al mismo tiempo que cualquier retorno al paso anterior es inmediato. De igual modo, varias ventanas constan de puntos de salida de la herramienta en los que se puede guardar el proyecto en que se trabaja para recuperarlo más adelante.

En comparación con otras posibles herramientas que sean de interés para las asignaturas, la descrita tiene a su favor el desarrollo explícito para los objetivos marcados, con lo que la interfaz no dispone de una amplia variedad de menús desplegados y opciones no utilizadas, lo que revierte a su favor. Además, los requerimientos de instalación se restringen a las características típicas de un PC de los disponibles en las salas de prácticas habituales que cuenta con Matlab.

4. Ejemplo de uso aplicado a la actividad docente

En esta sección se proponen dos ejemplos de uso aplicado a las asignaturas mencionadas en la introducción: “Radiación y Radiopropagación” por un lado y “Comunicaciones Móviles y por Satélite” junto con “Introducción a las Comunicaciones Móviles” por el otro.

4.1. “Radiación y Radiopropagación”

Dentro del temario de “Radiación y Radiopropagación” la herramienta presentada es un paradigma del empleo de técnicas de alta frecuencia para la resolución de diferentes problemas, ilustrados de modo teórico a lo largo del curso, que se fijan con mayor facilidad y pueden ser planteados como se muestra en las siguientes propuestas.

Uno de los puntos a abordar en la asignatura es el balance de potencias en un enlace en espacio libre a través de la formulación de Friis [5]. Para ello se toma una fuente (véase la ventana en la Figura 2) y se localizan los puntos de observación en diferentes posiciones:

- *Defina la posición de una fuente de radiación de tipo isotrópico que trabaja a una frecuencia de 300 MHz, Alimente la misma con una potencia de 1mW; establezca una ganancia de 7 dB y obtenga la potencia para distintos puntos de observación a diferentes distancias de la antena seleccionada.*
- *Determine las pérdidas de atenuación sufridas; represéntelas gráficamente frente a la distancia y halle una expresión analítica que se ajuste a la relación entre la potencia emitida y la recibida en el enlace.*

Con ánimo de demostrar la influencia de las diferentes contribuciones (iluminación, reflexiones de distinto orden y difracción) y la aparición de zonas en sombra, se propone una geometría canónica, como es un diedro rectangular de placas cuadradas caracterizadas como conductor eléctrico perfecto (PEC):

- *Cree un diedro rectangular de placas cuadradas de 5λ de lado. El eje del mismo se situará sobre el eje Z. Una de las placas se sitúa en el semiplano XZ positivo y la otra en el YZ positivo. Inserte una fuente puntual en las coordenadas $(1\lambda, 2\lambda, 2,5\lambda)$ y un punto de observación en $(3,5\lambda, 2,5\lambda, 2,5\lambda)$. Comente las diferencias encontradas al considerar las contribuciones (iluminación, reflexiones y difracción) y sus combinaciones.*
- *Pruebe otros emplazamientos del punto de observación.*
- *Elimine una de las placas y delimite las zonas iluminadas y en sombra en función de la contribución seleccionada.*

Otro de los conceptos, empleado en la resolución de problemas donde la configuración consiste en un elemento radiante próximo a la tierra (tomada como plano infinito PEC), es la Teoría de Imágenes [4]. Se simula el efecto de la tierra por medio de una placa cuadrada de dimensiones finitas sobre la que se emplaza un dipolo (orientaciones vertical y horizontal). Teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas se pide extraer conclusiones:

- *Genere una placa cuadrada PEC de 20λ de lado centrada en el plano XY. Seleccione una antena de tipo dipolo y dispóngalo verticalmente de manera que su punto de alimentación se encuentre en las coordenadas $(-4\lambda, 0, 5\lambda)$. Calcule el valor del campo eléctrico en una nube de puntos próximos a la fuente (con $z > 0$) y a una distancia d variable entre 2λ y 10λ .*
- *Disponga la misma configuración incluyendo la fuente imagen de la original y elimine ahora de la placa PEC. Compare los resultados adquiridos con los anteriores y, a su vez, con las expresiones teóricas de la Teoría de Imágenes.*
- *Repita el proceso para un dipolo horizontal.*
- *Determine de manera cuantitativa la influencia de las dimensiones de la placa metálica en los resultados.*

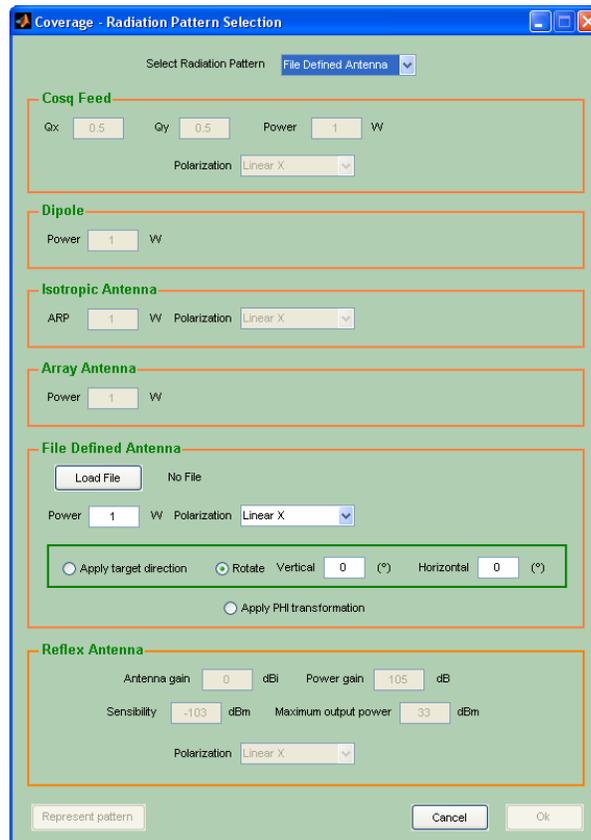


Figura 2. Selección del modelo de radiación de la antena.

Se considera que durante una sesión de prácticas se pueden resolver satisfactoriamente los apartados precedentes. Servirán de apoyo los apuntes de la asignatura, así como una breve explicación del funcionamiento del software.

La principal ventaja de la incorporación de la herramienta con interfaz gráfica radica en su clara orientación a las tareas descritas, de modo que es prácticamente inmediata la construcción de las configuraciones necesarias y sus variantes, permitiendo al alumno centrarse en el problema electromagnético. Asimismo no se requiere ni la compra de licencias de un software profesional, ni tampoco complejas instrucciones para desenvolverse de una manera aceptable en el entorno gráfico.

4.2. “Comunicaciones móviles y por satélite” e “Introducción a las comunicaciones móviles”

Las asignaturas, asociadas a las titulaciones de Ingeniería de Telecomunicación e Ingeniería Técnica de Telecomunicación: Especialidad Telemática respectivamente, presentan aspectos comunes en la temática a cubrir, en especial en lo referido al estudio de la segunda generación de telefonía móvil (*Global System for Mobile Communications –GSM–*). En este contexto, se exponen los diagramas de bloques que conforman el sistema; se efectúa un repaso por la capa física y las tramas que transportan la información; se habla de calidad de servicio (con menor profusión que en otras materias más específicas), pero quedan relegadas a un segundo plano las bases del diseño de una red, en términos de cobertura radioeléctrica.

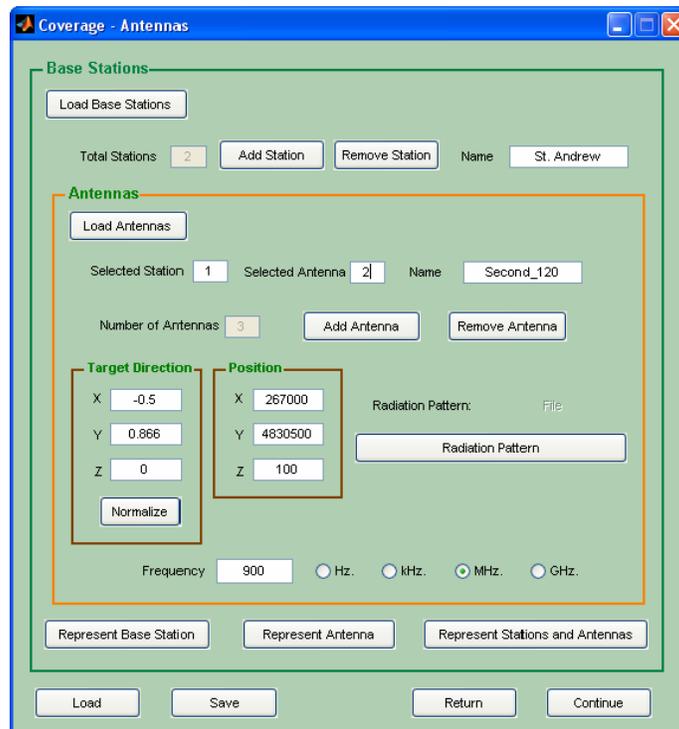


Figura 3. Emplazamiento y parámetros de las estaciones base.

Para salvar las limitaciones anteriores, se proponen dos experiencias fundamentadas en diferentes modelos de escenario: por un lado una geometría de dimensiones reducidas y, por otro, uno correspondiente a una vasta extensión de terreno extraído de cartografía de organismos oficiales. La diferenciación entre los dos casos se basa en que la técnica de evaluación de niveles de campo tiene una complejidad temporal que no permite el tratamiento en tiempo real de grandes superficies pero, sin embargo, de ambas situaciones será factible extraer conclusiones relevantes.

En el primer caso, se hace especial hincapié en la libertad para caracterizar el suelo variando sus parámetros constitutivos; seleccionar los puntos de observación sobre los que se evalúa la cobertura; elegir el emplazamiento de antenas así como su potencia, apuntamiento, etc. Es una toma de contacto con el software donde también se explotan las posibilidades de carga y almacenamiento de datos. Así, se puede representar un diagrama de radiación de una antena en un fichero de texto y obtener valores como su directividad.

El guión para efectuar las pruebas previas consta de múltiples apartados. En consecuencia, se ha tomado una sección que sea válida como ejemplificación del desarrollo de esta parte de la práctica:

- *Genere un escenario a partir de la carga de los ficheros Escenario1_P.txt y Escenario1_T.txt.*
- *Haga una caracterización del suelo del escenario con una permitividad relativa $\epsilon_r=2$ y conductividad $\sigma=0,01S/m$. Seleccione en la misma ventana los puntos de observación coincidentes con los baricentros de las facetas y elevados una cota igual a 1,5m.*
- *Añada 3 estaciones base funcionando a la frecuencia de trabajo adecuada y justifique su localización sobre el escenario.*
- *Ejecute el cálculo de cobertura radioeléctrica y comente aspectos tales como alcance, distribución de potencia, interferencia entre estaciones e influencia de la orografía.*
- *Identifique la variabilidad de las predicciones con la caracterización del suelo.*
- *Modifique el valor de PIRE de una de las antenas y compare los nuevos resultados con los obtenidos en el punto inicial.*
- *¿Podría obtener una disposición óptima de las estaciones? ¿Son necesarias las 3 estaciones base? ¿Cuáles serían los criterios básicos?*

En la Figura 3 se presenta una captura de la ventana donde se crean las estaciones base (y dentro de estas, las antenas). Algunos de los parámetros solicitados son la posición, la dirección de apuntamiento y la frecuencia de trabajo. Si se desea seleccionar el modelo de radiación, basta con dirigirse al botón “Radiation pattern” para que emerja la ventana ya vista en la Figura 2. Para facilitar la tarea de situar los elementos sobre la geometría, puede visualizarse la posición pulsando cualquiera de las tres opciones de representación presentes.

La segunda situación parte de un fichero de datos resultante de cálculos hechos a priori. Esto exige una preparación previa y la imposición de un abanico más cerrado de combinaciones que las del ejemplo previo, pero también da la opción de manejar entornos más realistas.

- *Cargue el escenario a partir de los ficheros Escenario2_P.txt y Escenario2_T.txt y aventure el número y localización de las estaciones base necesarias para dotar de una cobertura completa al escenario.*
- *En el menú principal del software se halla la opción “Load projects”. Marque en la ventana las opciones de carga de impedancias, estaciones base y antenas, junto con las contribuciones de iluminación, reflexiones y difracción.*
- *Al aceptar, la ventana de resultados surgirá en pantalla.*

El escenario se recoge en la Figura 4, donde quedan patentes algunas de las posibilidades de visualización con que cuenta la herramienta. Se trata de un área rural con un rango de altitudes entre 20 y 100 metros y una extensión de 6 km². Los tipos de antenas empleados han sido personalizados para cada uno de los emplazamientos, de modo que fueron sintetizados a partir de diversas medidas y características, dotando a la simulación de una componente más realista aún.

La Figura 5 muestra una captura de pantalla de los resultados obtenidos cuando se definen dos estaciones base en diferentes posiciones y sólo se tienen en cuenta efectos de reflexión en una región del escenario completo. Con los datos previamente almacenados en memoria como se propone, se pueden considerar diferentes regiones, eliminar alguna de las estaciones y combinar todo ello. Sin embargo tiene especial provecho el tratamiento de resultados: visualización de las componentes vectoriales de manera independiente; representación de contribuciones conjuntamente o por separado; densidad de potencia frente a campo eléctrico y/o magnético; comparativa con el método empírico Okumura-Hata [6]:

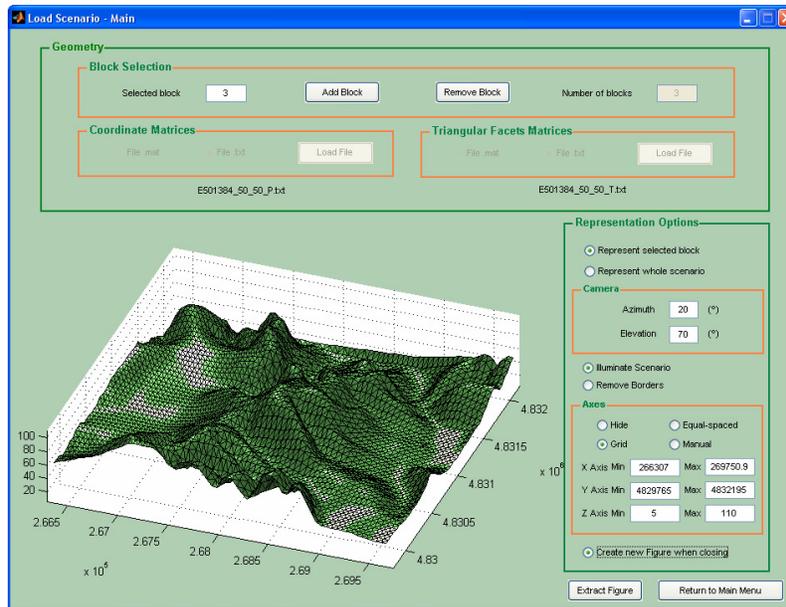


Figura 4. Carga del escenario.

- Visualice el campo eléctrico generado por la Estación 1 de manera conjunta y con cada una de sus antenas separadamente. Estime el ángulo de cobertura de las últimas.
- Para una de las estaciones presentes, determine los valores máximos de densidad de potencia cuando sólo se considera la contribución de la iluminación, sólo la de las reflexiones y sólo la de la contribución. ¿En qué condiciones prevalece un tipo sobre otro?
- Compare los resultados adquiridos con el método de alta frecuencia con aquellos provistos por un método empírico como es el Okumura-Hata. Destaque las diferencias entre ambos.

Estas propuestas se complementan con la planificación preexistente de las materias que, típicamente, combinan en los créditos asignados una parte de simulación en la que el alumno elabora su propio código; otra de experimentación con medidas en un entorno controlado y una última de utilización de software específico o profesional.

5. Conclusiones

La herramienta de cálculo de cobertura presentada es una vía cómoda y atractiva para abordar una temática que no es sencilla de ilustrar, pues otras posibilidades apuntarían a hacer alguna pequeña campaña de medidas, para lo cual se necesita el suficiente equipamiento; a utilizar un software

profesional, con el consecuente coste de licencia, o a que el alumno realice su propio código, que implica un mayor gasto de tiempo para la consecución de unas funcionalidades muy inferiores.

La navegación mediante ventanas con una distinción clara entre etapas dentro del proceso global de evaluación de la cobertura y la modificación de variables de manera directa en la interfaz dotan a la herramienta de una interacción cómoda para el alumno. Basándose en ello, múltiples casos de interés práctico y realista pueden ser solventados y analizados gracias a la potente representación tridimensional y su interacción con el usuario.

En este artículo se ha expuesto un ejemplo de uso para asignaturas de dos titulaciones. Asimismo puede considerarse la incorporación de la herramienta a otras asignaturas de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación, como es el caso de de Radar y Radiolocalización, haciendo uso del módulo de cálculo de sección recta radar (RCS) y de las geometrías canónicas predefinidas. En la misma línea, se permite la configuración de barridos angulares y en frecuencia mediante la simple introducción de los límites, salto o características del corte requerido.

En todo caso, se pretende, una vez planificadas las sesiones de prácticas y tras su realización, realizar un seguimiento, incluyendo la opinión de los alumnos, sobre el impacto de la utilización de este tipo de herramientas para la consecución de aptitudes y capacidades ligadas a la titulación.

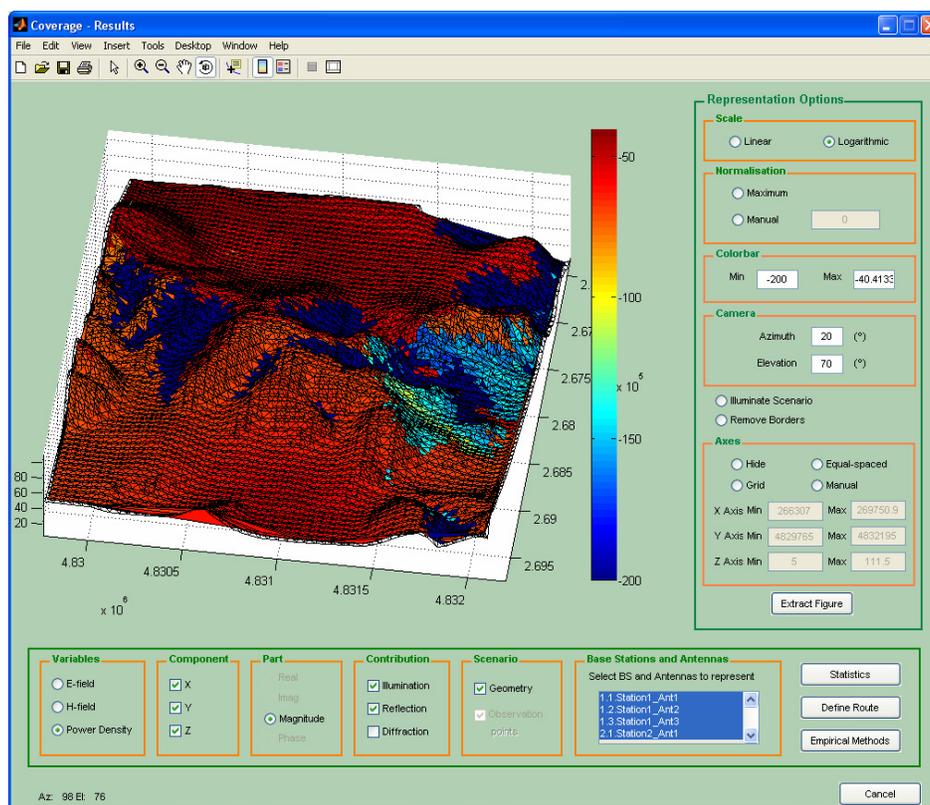


Figura 5. Ventana de representación de resultados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación mediante los proyectos TEC2008-01638/TEC (INVEMTA) y CSD2008-00068 (TERASENSE), Cátedra Telefónica de la Universidad de Oviedo y Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación de Asturias a través de la beca BP06-155.

Referencias

- [1] *Matlab User Guide*, The Mathworks, 2009, <http://www.mathworks.com>, [Consulta: septiembre 2009].
- [2] J. G. Meana, F. Las Heras y J. Á. Martínez Lorenzo, "A comparison among fast visibility algorithms applied to computational electromagnetics", *ACES Journal*, vol. 24, núm. 3, págs. 268-280, 2009.
- [3] J. G. Meana, J. Á. Martínez Lorenzo, C. Rappaport y F. Las Heras, "A PO-MoM comparison for electrically large geometries", *Actas de IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (AP-S'09)*, Charleston (EE.UU.), junio 2009.
- [4] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, 1a ed. Nueva York, EE.UU.: John Wiley and Sons, 1989.
- [5] R. E. Collin, *Antennas and radiowave propagation*, EE.UU.: McGraw-Hill, 1985.
- [6] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, núm. 3, págs. 317-325, 1980.