

(C-40)

**RADIOWEB: HERRAMIENTA WEB PARA LA  
REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURAS  
RELACIONADAS CON SISTEMAS DE  
RADIOCOMUNICACIONES.**

*María Martínez Quint*

*Francisco Alejandro Navarro Fuentes*

*Ricardo Mármol González*

*Concepción García Pardo*

*Mayte Martínez-Inglés*

*José Víctor Rodríguez Rodríguez*

*Juan Pascual García*

*José-María Molina-García-Pardo*

*Leandro Juan Llácer*



**(C-40) RADIOWEB: HERRAMIENTA WEB PARA LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURAS RELACIONADAS CON SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES.**

*María Martínez Quinto<sup>1</sup>, Francisco Alejandro Navarro Fuentes<sup>1</sup>, Ricardo Mármol González<sup>1</sup>, Concepción García Pardo<sup>2</sup>, Mayte Martínez-Inglés<sup>2</sup>, José Víctor Rodríguez Rodríguez<sup>2</sup>, Juan Pascual García<sup>2</sup>, José-María Molina-García-Pardo<sup>2</sup> y Leandro Juan Llácer<sup>2</sup>.*

**Afiliación Institucional:**

<sup>1</sup> Radiatio Ingeniería ([www.radiatio.com](http://www.radiatio.com))

<sup>2</sup> Grupo de investigación de Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)

**Indique uno o varios de los siete Temas de Interés Didáctico:** (Poner x entre los [ ])

Metodologías didácticas, elaboraciones de guías, planificaciones y materiales adaptados al EEES.

Actividades para el desarrollo de trabajo en grupos, seguimiento del aprendizaje colaborativo y experiencias en tutorías.

Desarrollo de contenidos multimedia, espacios virtuales de enseñanza- aprendizaje y redes sociales.

Planificación e implantación de docencia en otros idiomas.

Sistemas de coordinación y estrategias de enseñanza-aprendizaje.

Desarrollo de las competencias profesionales mediante la experiencia en el aula y la investigación científica.

Evaluación de competencias.

**Resumen.**

La creciente expansión de sistemas de comunicaciones inalámbricas ha supuesto la inclusión, en los planes de estudios de carreras técnicas, de asignaturas, en las que se estudia y analiza, tanto a nivel teórico como práctico, la planificación de estos sistemas desde el punto de vista radioeléctrico.

El número elevado de sistemas de radiocomunicaciones (telefonía móvil, televisión y radio digital, redes inalámbricas, etc., cada uno de ellos con sus particularidades desde el punto de vista radioeléctrico) ha hecho necesaria para su planificación la utilización de herramientas informáticas basadas en sistemas de información geográfica (SIG), puesto que se trata de un problema espacial (localización de emplazamientos, entornos de propagación) en el que se maneja también abundante información descriptiva (coordenadas del emplazamiento, parámetros radioeléctricos de los equipos, sistemas radiantes, etc.).

Estas herramientas funcionan en modo local y, por tanto, el SIG sobre el que está desarrollado la aplicación, debe estar instalado en cada puesto de laboratorio en el que se vayan a realizar las prácticas correspondientes. En este trabajo, se presenta la herramienta RADIOWEB basada en ArcGIS Server de ESRI, que permite realizar vía web prácticas relacionadas con la planificación de sistemas de radiocomunicaciones, teniendo aplicación, por tanto, en un contexto de enseñanza-aprendizaje basado en e-learning.

**Keywords:** e-learning, web, SIG, cálculos radioeléctricos, propagación, cobertura.

## **Abstract.**

The constant evolution of the wireless communication systems has involved the inclusion, in the syllabus of technical degrees, of subjects in which the planning of such systems is studied and analyzed –from a radioelectric point of view– both at a theoretical level and at a practical level.

The large number of radiocommunication systems (mobile phones, television and digital radio, wireless networks, etc), each of them with its special features from a radioelectric point of view, has resulted in the need of the use of computing tools based on Geographic Information Systems (GIS) for the planning of the above-mentioned radiocommunication systems, since the latter is a spatial issue (sites location, propagation environments) in which plenty of descriptive information is also managed (site coordinates, equipment radioelectric parameters, radiant systems, etc.).

These tools work in local mode and, therefore, the GIS software that supports the developed application must be installed in each laboratory workstation in which the corresponding laboratory session is going to be performed. . In this work, the computing tool RADIOWEB, which is based on ArcGIS Server from ESRI, is presented. This tool permits the performance of laboratory sessions related to radiocommunication systems planning via web and, in this sense, it can be applied in a teaching-learning context based on e-learning.

## **Texto.**

### **1. Introducción.**

Hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), los estudiantes pueden realizar un aprendizaje *online* y colaborar con sus compañeros de clase y docentes (profesores, tutores, mentores, etc.) de forma síncrona o asíncrona, sin limitaciones espacio-temporales.

El proceso de enseñanza-aprendizaje relacionado con la planificación de sistemas de radiocomunicaciones se ha llevado a cabo en los centros docentes mediante la realización de prácticas con herramientas informáticas [1] basadas en sistemas de información geográfica (SIG) [2], que deben estar instaladas en cada puesto del laboratorio.

El principal propósito de RADIOWEB es permitir la realización de prácticas vía web relacionadas con la planificación de sistemas de radiocomunicaciones. De esta manera, los alumnos van a ser capaces de entender, a través de un portal web basado en tecnología de servidores SIGs, cómo se planifican dichos sistemas [3], entre los que figuran como más actuales el GSM, UMTS, TETRA, LMDS, MMDS, Radio digital, TDT, WiFi, WiMax, LTE, etc., cada uno de ellos con sus particularidades en cuanto a potencia, pérdidas en transmisión y recepción (cables, conectores, etc.), ganancia y diagramas de radiación de antenas (omnidireccionales, sectorizadas, etc.), bandas de frecuencia, etc..

## 2. Entorno de Desarrollo.

La herramienta RADIOWEB se ha implementado utilizando el SIG de ESRI ArcGIS Server [4-10], que es una plataforma completa capaz de crear aplicaciones y servicios SIG profesionales que, gracias a su tecnología de servidor, son capaces de gestionar, visualizar y analizar información geográfica de manera centralizada.

RADIOWEB se ha desarrollado en lenguaje Java gracias a que ArcGIS Server proporciona la capacidad de crear aplicaciones personalizadas en este lenguaje [13-16]. La versión de Java utilizada ha sido el JRE (Java Runtime Environment) 1.6.0\_07. El entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para la implementación del código es Eclipse (la versión Ganymede) en el que se ha instalado el plug-in de ArcGIS para poder incluir en el código Java los ArcObjects (conjunto de librerías de ESRI). Además, se ha hecho uso de un servidor Apache Tomcat v6.0 para poder probar la aplicación Web.

Los exploradores Web que soportan la aplicación son:

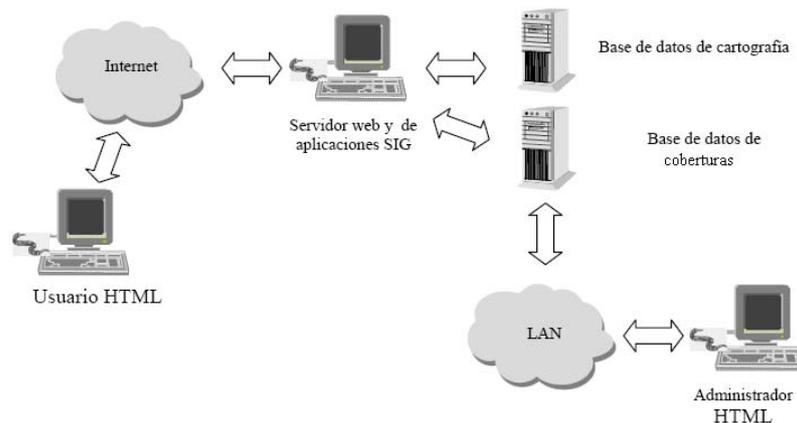
- Firefox 1.5.x.
- Internet Explorer 6.0 SP2.
- Mozilla 1.7.
- Netscape 8.

Además, es necesario tener habilitado JavaScript en el explorador.

Los modelos de programación (UITR-526, UITR-1546, Okumura-Hata, COST231, Xia-Bertoni) [11-12] incluidos en la aplicación, son programas implementados en C++.

## 3. Arquitectura del Sistema.

La Figura 1 muestra la arquitectura del sistema.



**Figura 1. Arquitectura del sistema.**

El servidor Web y el servidor de aplicaciones SIG se encargan de interactuar con la base de datos de cartografía y el usuario final. Por otra parte, la base de datos de coberturas radioeléctricas que se va creando a medida que los usuarios (estudiantes) utilizan el servicio, es accesible para el administrador (el profesor) del sistema.

RADIOWEB ha sido adaptada a la plataforma Windows XP, al servidor web Apache, al motor de servlets Tomcat, al servidor de aplicaciones Java y al tipo de cliente HTML.

#### **4. Funcionalidades.**

La aplicación RADIOWEB incluye las siguientes funcionalidades:

- Calcular coberturas radioeléctricas recortando una zona de cálculo del mapa y creando dos capas, una raster que contiene el valor de cobertura de potencia en cada punto de la zona, y otra vectorial que contiene la tabla de atributos de la cobertura. Ambas capas se añaden automáticamente al mapa tras el cálculo.
- Añadir al mapa coberturas radioeléctricas previamente calculadas que se encuentren en la base de datos de coberturas.
- Eliminar coberturas radioeléctricas tanto del mapa como de la base de datos de coberturas.
- Calcular el porcentaje de potencia que supera un umbral sobre una zona (región, término municipal, carretera, etc.) aportado por una estación base, así como el cálculo del mejor servidor de un sistema formado por varias coberturas radioeléctricas desde diversos emplazamientos.
- Realizar zoom sobre cualquier zona del mapa y volver a la extensión inicial.
- Identificar cualquier punto del mapa obteniendo información de los elementos de las distintas capas vectoriales del mapa que se encuentran en ese punto.
- Medir distancias entre distintos puntos del mapa y el área encerrada en los límites de un polígono.
- Crear nuevos emplazamientos seleccionando su ubicación en el mapa. Se crearán como nuevas capas vectoriales (poseerán su propia tabla de atributos) y se añadirán al mapa y a una base de datos de emplazamientos.
- Añadir emplazamientos que estén disponibles en la base de datos de emplazamientos y que no estén cargados en ese momento en el mapa.
- Eliminar emplazamientos tanto del mapa como de la base de datos de emplazamientos.
- Subir o descargar archivos del servidor (coberturas, emplazamientos, diagramas de antenas, etc.).

#### **5. Funcionamiento.**

Para poder acceder a la herramienta, el alumno deberá registrarse como nuevo usuario de la aplicación, en caso de que acceda por primera vez. Una vez añadido a la base de datos de usuarios, podrá iniciar sesión cada vez que lo desee por medio de su nombre de usuario y contraseña y, de esta forma, dispondrá de todas las funcionalidades de la herramienta para la realización de ejercicios y cálculos propuestos por el profesor. El trabajo realizado por el alumno durante cada sesión será almacenado en su directorio personal dentro del servidor. El profesor tendrá acceso a éste para poder llevar a cabo un seguimiento y evaluación de los conocimientos adquiridos por el alumno. La aplicación también proporciona la opción de que el mismo estudiante pueda comprobar en tiempo real si los resultados obtenidos de sus cálculos son correctos y así poder asimilar en el momento las conclusiones obtenidas del estudio realizado.

En la Figura 2 puede verse el aspecto general de RADIOWEB una vez que se ha iniciado la sesión.



**Figura 2. Aspecto general de la aplicación RADIOWEB.**

Se observa que la página Web de inicio de la aplicación tiene cuatro partes principales:

- En la parte superior, un menú con un enlace a la Ayuda de la Aplicación y la Barra de Herramientas para interactuar con el mapa.
- Un Mapa.
- La Consola, en la parte izquierda de la página, que permite la interacción con el mapa y proporciona información sobre éste.

## 6. Prácticas Docentes.

La aplicación RADIOWEB incluye una serie de prácticas enfocadas a que el alumno aprenda no sólo a desenvolverse con la herramienta, sino a planificar un sistema de radiocomunicaciones de cualquier tecnología. A continuación se listan las distintas prácticas contenidas en la aplicación y sus objetivos.

- Cobertura de Potencia de un Sistema de Comunicaciones. El alumno debe realizar un balance de enlaces para decidir qué enlace (ascendente o descendente) de un sistema de radiocomunicaciones fija la cobertura de potencia en una estación base. Una vez realizado el balance, deberá calcular la cobertura de potencia con los datos en transmisión y recepción adecuados de las estaciones base que forman parte del sistema. Finalmente, se deben calcular los porcentajes de cobertura de potencia por término municipal y en el conjunto de municipios.
- Optimización de un Sistema de Radiocomunicaciones Celular. El alumno debe utilizar un algoritmo para optimizar la cobertura radioeléctrica de un sistema de radiocomunicaciones móviles celular cumpliendo con unas especificaciones de calidad de cobertura.
- Densidad de Potencia. El alumno debe calcular el porcentaje de densidad de potencia que está por debajo de un cierto umbral alrededor de un emplazamiento urbano en el que operan diversos sistemas de radiocomunicaciones.
- Cobertura en interiores. El alumno debe estimar la cobertura de potencia en el interior de un edificio en la banda de 900 MHz y de 1800 MHz para decidir qué sistema sería más conveniente instalar desde el punto de vista de cobertura.

- *Sistema de Radiocomunicaciones Celular en Entorno Urbano*. El alumno debe realizar un estudio completo (balance de potencia, cálculo de cobertura individual y de sistema, y mapa de mejor servidor) de un sistema de radiocomunicaciones celular con estaciones base macrocelulares omnidireccionales y sectorizadas, y estaciones base microcelulares.

## 7. Ejemplo de una práctica con RADIOWEB. Estudio de Cobertura Radioeléctrica en un Sistema GSM.

### A. Objetivo.

Estimar la cobertura radioeléctrica para terminales móviles y portátiles de un sistema GSM formado por tres estaciones base situadas en entorno rural, conocidos los parámetros radioeléctricos (PIRE, sensibilidad, antenas, etc.) de éstas y de los terminales móviles.

### B. Parámetros de Equipos.

Al alumno se le suministran catálogos de material como combinadores, divisores, cables, antenas, etc. que se utilizan en la planificación de sistemas GSM. Con estos parámetros el alumno debe rellenar *online* una hoja de cálculo con las siguientes Tablas que deberán completarse con los parámetros obtenidos de los catálogos (en este caso están completadas):

Transmisión	Unidades	Estación Base	Terminal Móvil
Banda de Frecuencias	MHz	960	915
Potencia de Tx	W	25	2
Tipo de Combinador		1:2	
Pérdidas Combinador	dB	3	0
Tipo de Cable de Antena		½"	
Atenuación del Cable de Antena	dB/100 m	3,9	
Longitud del Cable de Antena	m	35	0
Tipo Sistema Radiante (antena)	Katherein	738 192	dipolo
Ganancia de la Antena	dBi	14	2
Otras Pérdidas (uso terminal móvil, etc.)	dB	0	4

**Tabla 1 – Parámetros en transmisión de los equipos GSM.**

Transmisión	Unidades	Estación Base	Terminal Móvil
Banda de Frecuencias	MHz	915	960
Sensibilidad	dBm	-107	-104
Pérdidas Divisor de Potencia	dB	3	0
Tipo de Cable de Antena		½"	
Atenuación del Cable de Antena	dB/100 m	3,9	0
Longitud del Cable de Antena	m	35	0
Tipo Sistema Radiante (antena)	Katherein	738 192	dipolo
Ganancia de la Antena	dBi	14	2
Ganancia Extra por Diversidad	dB	3	0
Otras Pérdidas (uso terminal móvil, etc.)	dB	0	4

**Tabla 2 – Parámetros en recepción de los equipos GSM.**

### C. Balance de Enlaces.

En otra hoja de cálculo y utilizando los parámetros anteriores el alumno debe realizar un balance de enlaces con el siguiente esquema:

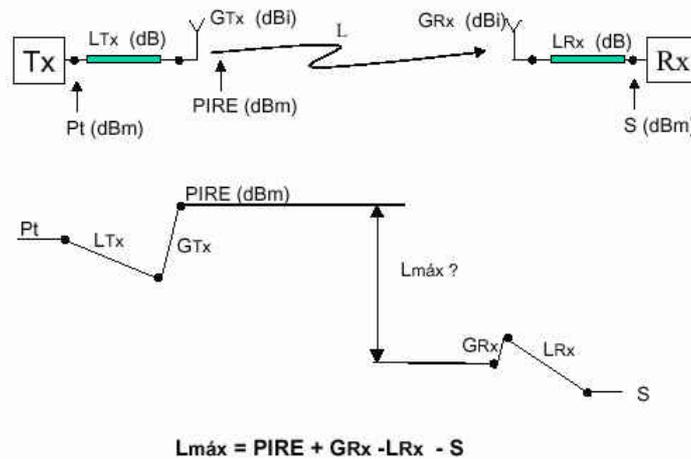


Figura 3. Esquema del balance de enlaces.

La Tabla 3 muestra la solución que debería alcanzar el alumno:

	Transmisión	Uds	Base a Móvil	Móvil a Base
$P_T$	Potencia Tx	dBm	43,98	33,01
$L_{Tx}$	Pérdidas en Transmisión		4,37	4,00
$G_{Tx}$	Ganancia en Transmisión	dBi	14,00	2,00
PIRE	Potencia Isótropa Radiada Equivalente	dBm	53,61	31,01
Recepción				
$G_{Rx}$	Ganancia en Recepción	dBi	2,00	17,00
$L_{Rx}$	Pérdidas en Recepción	dBm	4,00	4,37
S	Sensibilidad	dBm	-104,00	-107,00
$L_{\text{máx}}$	<b>Pérdidas Máximas Admisibles</b>	dB	<b>155,61</b>	<b>150,65</b>

Tabla 3 – Solución del balance del enlace.

De esta forma, el alumno debe identificar cuál es el enlace peor (pérdidas máximas admisibles menores), que en este caso se trata del enlace ascendente (terminal móvil-estación base). Esto quiere decir que en la herramienta RADIOWEB deberemos calcular la cobertura de potencia teniendo en cuenta qué transmite el terminal móvil y qué recibe la estación base.

El alumno, ahora, podría cambiar parámetros de equipos como la potencia transmitida, tipos de antenas, etc. y analizar qué sucede con el balance.

#### D. Emplazamientos.

En el enunciado de la Práctica, al alumno se le deben suministrar las coordenadas de los emplazamientos. En la Tabla 4 se recogen los utilizados en nuestros cálculos. Todos ellos se encuentran en un área del terreno del que disponemos el modelo digital del terreno (MDT).

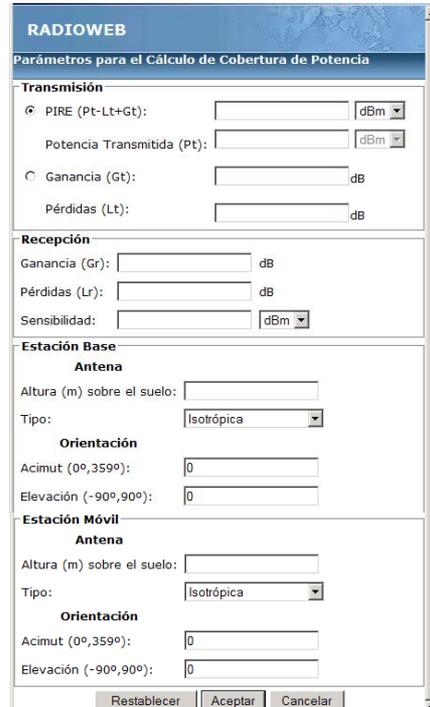
	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
Estación 1	3664615	5334283
Estación 2	3671969	5321905
Estación 3	3687354	5348577

Tabla 4 – Emplazamientos.

#### E. Cálculos con RADIOWEB.

Los pasos a seguir para la realización de la práctica con RADIOWEB son:

1. Cálculo de las tres coberturas individuales. En RADIOWEB primero se calcularía una de ellas, completando el menú de parámetros de entrada (parámetros de transmisión, recepción y pérdidas), y una vez calculada una, es suficiente con cambiar el emplazamiento, volver a calcular y guardar la nueva cobertura con otro nombre. En la Figura 4, puede verse el menú de parámetros de entrada a completar por el alumno y en la Figura 5 una de las tres coberturas individuales calculada.

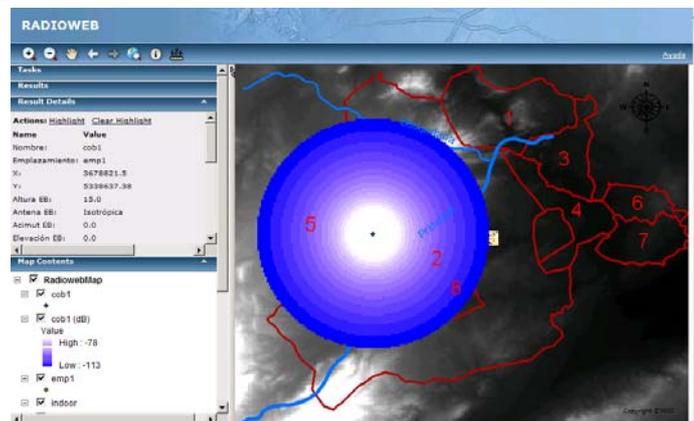


The screenshot shows the 'RADIOWEB' application window with the title 'Parámetros para el Cálculo de Cobertura de Potencia'. The form is organized into several sections:

- Transmisión:** Includes radio buttons for 'PIRE (Pt-Lt+Gt):', 'Potencia Transmitida (Pt):', and 'Ganancia (Gt):'. Each has an input field and a unit dropdown (dBm or dB). There is also a 'Pérdidas (Lt):' field with a unit dropdown.
- Recepción:** Includes fields for 'Ganancia (Gr):', 'Pérdidas (Lr):', and 'Sensibilidad:' with unit dropdowns.
- Estación Base:**
  - Antena:** 'Altura (m) sobre el suelo:' field and 'Tipo:' dropdown (set to 'Isotrópica').
  - Orientación:** 'Acimut (0°,359°):' and 'Elevación (-90°,90°):' fields.
- Estación Móvil:**
  - Antena:** 'Altura (m) sobre el suelo:' field and 'Tipo:' dropdown (set to 'Isotrópica').
  - Orientación:** 'Acimut (0°,359°):' and 'Elevación (-90°,90°):' fields.

At the bottom, there are three buttons: 'Restablecer', 'Aceptar', and 'Cancelar'.

Figura 4. Formulario de parámetros de entrada.



**Figura 5. Ejemplo de cobertura individual en RADIOWEB.**

2. Cálculo de la cobertura múltiple. En RADIOWEB, se seleccionaría cada una de las coberturas individuales y se calcula la cobertura múltiple con la posibilidad de calcular el mapa de mejor servidor.
3. Porcentaje de cobertura sobre un término municipal. RADIOWEB, como se comentó previamente, ofrece la posibilidad de elegir uno a uno, de una capa vectorial, los polígonos que representarían, por ejemplo, en este caso, los términos municipales, e ir calculando el porcentaje de cobertura sobre un umbral en cada término municipal.

#### **F. Análisis de Resultados.**

El alumno debería ser capaz, con esta práctica, de:

1. Darse cuenta de que la cobertura radioeléctrica en una comunicación bidireccional vía radio viene delimitada por el enlace peor.
2. Identificar las zonas de sombra en cada cobertura individual y a nivel de sistema.
3. Calcular el porcentaje de cobertura del sistema y de cada una de las estaciones base en un área determinada (término municipal).
4. Utilizar diferentes modelos de propagación para estimar las pérdidas y ver su influencia en la cobertura.
5. Modificar parámetros de las antenas (tipo: omnidireccional o sectorizada, ganancia, orientación, etc.) y analizar su influencia en los resultados (cobertura, porcentaje, etc).
6. Influencia del MDT en la cobertura radioeléctrica (resolución, etc.)

#### **8. Conclusiones.**

Se ha presentado una herramienta para la realización de prácticas vía web basada en un sistema de información geográfica que no es necesario instalar en cada puesto de Laboratorio. El estudiante dispone de un login y un password que le permite acceder a un portal web para realizar las prácticas a distancia.

El estudiante se familiariza con cómo gestionan los sistemas de información geográfica (SIG) la información espacial (vectorial o raster) y descriptiva (tablas de atributos) al crear emplazamientos y calcular coberturas

radioeléctricas, que son almacenadas en el formato del SIG.

Mediante la realización de las prácticas, el estudiante aprende *online* qué parámetros radioeléctricos intervienen en la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones así como la influencia del entorno de propagación en estos.

## **Bibliografía y Referencias.**

- [1] Fco. Javier Ponce Juan, José María Molina García-Pardo, José Víctor Rodríguez Rodríguez, Leandro Juan Llácer, “RAGIS: herramienta de gestión y de cálculo de cobertura radioeléctrica basada en sistemas de información geográfica”, Asociación Hispanoamérica de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones, vol. 101, pp. 59-63, Enero 2005.
- [2] David J. Buckley, “The GIS Primer, an introduction to Geographic Information Systems”, Corporate GIS Solutions Manager, Pacific Meridian Resources, Inc.
- [3] J.H. Rábanos, “Comunicaciones Móviles”, Ed. Ramón Areces, 2ª Edición 2004.
- [4] Tutorial de ArcGIS 9.1. Iván Santiago. Noviembre 2005.
- [5] Manual de ArcGIS: Using ArcGIS 3D Analyst.
- [6] Manual de ArcGIS: Using ArcGIS Spatial Analyst:
- [7] Manual de ArcGIS: What is ArcGIS 9.1?
- [8] Manual de ArcGIS: Getting Started With ArcGIS.
- [9] Manual de ArcGIS: Exploring ArcObjects. Vol.1- Applications and Cartography.
- [10] Manual de ArcGIS: Exploring ArcObjects. Vol.2- Graphics Data Management.
- [11] J.H. Rábanos, “Transmisión por Radio”, Ed. Ramón Areces, 6ª Edición 2008.
- [12] Mª Victoria Moreno Cano, “Implementación de Nuevos Modelos de Propagación en una Herramienta de Cálculo de Cobertura Radioeléctrica Vía Web Basada en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS Server”, Trabajo Fin de Master, UPCT 2010.
- [13] <http://edn.esri.com>
- [14] “Building Applications with ArcGIS Server Using the Java Platform”, ESRI 2007.
- [15] Sathya Prasad, “Introduction to ArcGIS Server Development Java Web ADF”, ESRI 2008.
- [16] Kang-Tsung Chang, “Programming ArcObjects with VBA. A Task Oriented Approach”, 2004.