

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Grado

Desarrollo de una nueva funcionalidad de cálculo de radioenlaces para la herramienta RadioEarth



AUTORA: Sara López Hervás

DIRECTORES: Leandro Juan Llácer
Pedro Sánchez Palma

Enero 2019

Autora:	Sara López Hervás
E-mail del Autor:	sara.lop96@gmail.com
Directores	Leandro Juan Llácer Pedro Sánchez Palma
E-mails directores:	leandro.juan@upct.es pedro.sanchez@upct.es
Título del TFG:	Desarrollo de una nueva funcionalidad de cálculo de radioenlaces para la herramienta RadioEarth
Resumen:	<p>En la planificación de un sistema de radiocomunicaciones juega un papel fundamental la utilización de herramientas de planificación tanto para el cálculo de cobertura radioeléctrica como para el cálculo de radioenlaces. El Grupo de investigación de Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) posee experiencia en el desarrollo de herramientas de cálculo de cobertura: RADIOGIS, basada en el sistema de información geográfica ArcGIS de ESRI, RadioEarth, basada en Google Earth o RF Terrain Profiles para Android o IOS. RadioEarth, permite el cálculo de cobertura radioeléctrica y está integrada en Google EarthTM. RadioEarth está programada en JAVA, y algunas de las funciones que ya incorpora son el cálculo de cobertura radioeléctrica individual (de una estación base) de potencia, campo eléctrico y densidad de potencia; así como una base de datos de coberturas y emplazamientos. Este proyecto consiste en la implementación en <i>RadioEarth</i> de una nueva funcionalidad de cálculo de radioenlaces, corrigiendo los errores y fallos detectados en la funcionalidad ya implementada.</p>
Titulación:	Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación
Departamento:	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Fecha de Presentación:	Enero 2019

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado bajo la supervisión de Leandro Juan Llácer y Pedro Sánchez Palma, a quienes quiero expresar mi más profunda gratitud por su paciencia, tiempo y dedicación para que la realización del proyecto saliera de forma exitosa. A ellos, junto con otros profesores de la UPCT, quiero agradecer todo lo aprendido durante estos cuatro años de carrera, que culmina con este trabajo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi familia su apoyo incondicional durante todos estos años y el interés que siempre han mostrado en mí. En especial a mis padres, Juan y Pilar, quienes han vivido de cerca todos los altibajos en el camino hasta llegar a hasta aquí. Gracias por apoyarme siempre, confiar en mí, y por todos los sacrificios que habéis hecho a mi beneficio. Gracias por todos los valores que me habéis transmitido, por insistir en no rendirme nunca y en perseguir mis objetivos.

Por último, pero no por ello menos importante, me gustaría dar las gracias a mis amigos. Sin ellos, esta etapa habría sido mucho más dura. No sólo habéis estado ahí para apoyarnos entre nosotros en los momentos difíciles, sino que también habéis estado para celebrar los buenos momentos, y poder distraernos de tanto artículo científico.

ÍNDICE

ÍNDICE	6
LISTA DE IMÁGENES	8
CAPÍTULO 1.....	11
<i>Introducción y Objetivos</i>	<i>11</i>
1.1 Introducción.....	11
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Recursos necesarios.....	12
1.4 Contenido.....	12
CAPÍTULO 2.....	14
<i>RadioEarth</i>	<i>14</i>
2.1 Descripción	14
2.2 Sistema de archivos.....	14
2.3 Archivos xml	15
2.4 Formato de los datos de los archivos MDT	16
2.5 Google Earth en RadioEarth.....	19
2.5.1 Descripción	19
2.5.2 Google Earth COM API.....	20
2.5.3 Archivos KML.....	21
2.6 Sistemas de Coordenadas.....	24
2.6.1 Sistema de coordenadas geográficas	24
2.6.2 Sistema de coordenadas UTM.....	25
2.7 Funcionalidades.....	27
2.7.1 Contenido global.....	27
2.7.2 Cálculo de coberturas radioeléctricas.....	28
2.7.3 Cálculo de perfiles.....	32
CAPÍTULO 3.....	33
<i>Nueva funcionalidad de la aplicación RadioEarth.....</i>	<i>33</i>
3.1 Zonas de Fresnel	33
3.2 Representación de perfiles.....	35
3.3 Nuevo módulo implementado	36
3.4 Herramienta para el cálculo de radioenlaces.....	39
CAPÍTULO 4.....	46
<i>Resultados.....</i>	<i>46</i>
4.1 Resultados en RadioEarth	46

<i>4.2 Comparación con los resultados obtenidos en Radio Mobile</i>	56
CAPÍTULO 5	59
<i>Conclusiones y futuras líneas</i>	59
<i>5.1 Conclusiones</i>	59
<i>5.2 Futuras líneas</i>	60
BIBLIOGRAFÍA	61

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1 *Menú principal de RadioEarth*

Figura 2 *Menú de directorios de RadioEarth*

Figura 3 *archivo Paths.xml*

Tabla 1 *archivo MDT*

Figura 4 *Dimensiones de una celda*

Figura 5 *Representación de la matriz de celdas*

Figura 6 *Puntos en una celda*

Figura 7 *Google Earth*

Tabla 2- *Clases de com4j*

Figura 8 *Diagrama de elementos KML*

Figura 9 *Archivo KML del emplazamiento A*

Figura 10 *Representación de emplazamiento A en Google Earth*

Figura 11 *Representación de latitudes (a) y longitudes (b)*

Figura 12 *Cilindro generador de la proyección UTM*

Figura 13 *Mapa del mundo en proyección transversa de Mercator*

Figura 14 *Husos y zonas UTM*

Figura 15 *Diagrama de bloques de RadioEarth*

Figura 16 *Procedimiento para el cálculo de cobertura de potencia A*

Figura 17 *Cobertura de potencia A_2*

Figura 18 *Panel de Parámetros Comunes con la opción auto deshabilitada*

Figura 19 *Menú para el cálculo de radioenlaces*

Figura 20 *Anillos n-simos que delimitan cada zona de Fresnel*

Figura 21 *Círculos concéntricos que definen los límites de las zonas de Fresnel*

Figura 22 *Perfil entre T y R con despejamiento negativo*

- Figura 23** Perfil entre T y R con despejamiento positivo
- Figura 24** Representación de un Perfil
- Figura 25** Menú Calcular Perfil
- Figura 26** Representación del perfil entre Tx y Rx sobre las celdas del MDT
- Figura 27** Menú principal de RadioEarth con la opción Calcular Perfil seleccionada
- Figura 28** Menú Calcular Perfil con parámetros del primer perfil
- Figura 29** Panel de capturar posición
- Figura 30** Perfil 1 representado en Google Earth
- Figura 31** Perfil Gebas-Librilla
- Figura 32** Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 2GHz
- Figura 33** Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 5GHz
- Figura 34** Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 5GHz y alturas de las antenas de 20m
- Figura 35** Menú Calcular Perfil con parámetros del segundo perfil
- Figura 36** Perfil 2 representado en Google Earth
- Figura 37** Perfil Sangonera-Corvera
- Figura 38** Menú Calcular Perfil con parámetros del tercer perfil
- Figura 39** Perfil 3 representado en Google Earth
- Figura 40** Perfil M-Mazarrón
- Figura 41** Perfil Gebas-Librilla calculado con Radio Mobile
- Figura 42** Perfil M-Mazarrón calculado con Radio Mobile
- Figura 43** Perfil Gebas-Librilla con un MDT de resolución 30
- Figura 44** Perfil M-Mazarrón con un MDT de resolución 30

CAPÍTULO 1

Introducción y Objetivos

1.1 Introducción

El continuo crecimiento de los sistemas de radiocomunicaciones (GSM, UMTS, LTE, WiFi, WiMAX, TDT, etc.) en las últimas décadas ha propiciado la aparición de diferentes herramientas para la planificación de radioenlaces y coberturas radioeléctricas. Estas herramientas resultan vitales para la planificación eficiente de las nuevas instalaciones, debiendo tener en cuenta el terreno donde se van a localizar, su entorno, y siempre buscando la menor pérdida de potencia posible. En este marco surge *RadioEarth*, una herramienta similar a aquellas basadas en los sistemas de información geográfica (GIS), pero que en este caso interactúa con *Google Earth*. Esto le ofrece una interfaz muy intuitiva dirigida a un público muy amplio y diverso. Además, *RadioEarth* se caracteriza por su facilidad para implementar nuevas funcionalidades.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto consiste en la implementación en *RadioEarth* de una nueva funcionalidad de cálculo de radioenlaces, corrigiendo los errores y fallos detectados en la funcionalidad ya implementada. Además, durante el período de comprensión del código, se han detectado otros pequeños inconvenientes a los que se ha aportado una solución. Se pretenden representar sobre el mapa de *Google Earth* los elementos que intervienen en un radioenlace, además de levantar el perfil en una gráfica independiente.

1.3 Recursos necesarios

Las herramientas de software utilizadas durante el desarrollo del proyecto han sido: el entorno de desarrollo integrado (IDE) *Eclipse* de JAVA, *Matlab* versión 9.0 (R2015b) para Windows de 32 bits, *Google Earth* y *Google Earth Pro*. Además, *Eclipse* necesita para funcionar *JAVA JDK*, actualmente versión 8.1.

Además, para el correcto funcionamiento de la herramienta *RadioEarth* será necesario tener instalado en el PC donde se va a ejecutar las siguientes herramientas software:

- *JAVA JDK 6.1* o versiones posteriores para 32 bits.
Las librerías ya existentes en *RadioEarth* fueron compiladas en 32 bits, por lo que para poder ejecutar el .jar será necesario tener un JDK de 32 bits. Si no se selecciona automáticamente será necesario configurar las variables de entorno del sistema, y añadir nuevas si fuera preciso.
- *Google Earth* (versión 4.3.0) y *Google Earth Pro* (versión 7.3).
- En el caso de no tener instalado *Matlab Runtime* versión 9.0 (R2015b), será necesario instalar *Matlab Compiler Runtime (MCR)* versión 9.0. Esto se puede realizar tanto ejecutando el instalador *Matlab Runtime* proporcionado en el paquete de *RadioEarth*, como descargando el instalador de *Matlab Runtime* para R2015b para Windows 32 bits de la página oficial de *Mathworks* [1].

1.4 Contenido

El contenido de la memoria del proyecto está organizado en capítulos, apartados y subapartados. En cada capítulo se plantea un bloque de contenido y en los diferentes apartados y subapartados se desarrollan los puntos a tratar. Puesto que los capítulos están interconectados entre sí, será imprescindible la comprensión del anterior para poder continuar con el siguiente.

En el *Capítulo 1*, “*Introducción y objetivos*”, se han expuesto los objetivos del proyecto además de una contextualización sobre el tema del que va a tratar. También se mencionan las herramientas necesarias para su desarrollo.

En el *Capítulo 2*, “*RadioEarth*”, se hace una aproximación al programa *RadioEarth*. Se explican el sistema de archivos que utiliza y las funcionalidades desarrolladas anteriormente, además de otros aspectos a tener en cuenta para una mejor comprensión del programa, como los sistemas de coordenadas utilizados. Además, se presenta *Google Earth*, que es el motor gráfico sobre el que se representan los resultados de *RadioEarth*.

En el *Capítulo 3*, “*Nueva funcionalidad de la aplicación RadioEarth*”, se explica el contenido teórico en el que se ha basado la funcionalidad desarrollada y cómo se ha implementado.

En el *Capítulo 4, “Resultados”*, se muestran los resultados obtenidos para diferentes cálculos de radioenlaces.

En el *Capítulo 5, “Conclusiones y futuras líneas”*, se incluye una pequeña conclusión del proyecto además de algunas ideas para continuar ampliando y mejorando *RadioEarth*.

El capítulo final, *“Bibliografía”*, se corresponde con la bibliografía empleada para desarrollar el proyecto.

CAPÍTULO 2

RadioEarth

2.1 Descripción

RadioEarth es una herramienta destinada al cálculo, análisis y representación de coberturas radioeléctricas de sistemas de radiocomunicaciones como GSM, UMTS, TETRA, LMDS, MMDS, Radio digital, TDT, WiFi, etc. utilizando diferentes modelos de propagación [2]. Está desarrollada en JAVA e integrada en *Google Earth*TM. Utiliza *Google Earth* para representar emplazamientos y coberturas en cualquier punto del planeta. La interfaz gráfica de *RadioEarth* se ha desarrollado mediante *Swing*, una biblioteca gráfica para JAVA.

La principal ventaja que tiene *RadioEarth* es su potencial para añadir nuevas funcionalidades. Respecto a otras herramientas de software basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), éstas necesitan un conocimiento previo del software, mientras que *RadioEarth*, mediante *Google Earth*, ofrece una interfaz muy intuitiva, ya que gran parte de la población está familiarizada con *Google Earth* y lo ha utilizado en otras ocasiones. Así *RadioEarth* se convierte en una solución para el estudio de radioenlaces y coberturas radioeléctricas dirigida tanto a usuarios especializados en la materia con carácter investigador como al público en general que tenga curiosidad en este campo [3].

2.2 Sistema de archivos

Al instalar *RadioEarth*, se crea un árbol de directorios por defecto en la carpeta donde se haya instalado el programa. La ubicación de los directorios se guarda en un archivo denominado *Paths.xml*. Desde el menú *Ubicación de* situado en la barra de menú

principal (ver Figura 1) será posible modificar la ruta donde se guardan los distintos tipos de archivos de emplazamientos, coberturas radioeléctricas o perfiles. Como se puede observar en la Figura 2, los directorios se pueden modificar tantas veces como lo desee, y siempre se podrá volver al valor predeterminado [4].

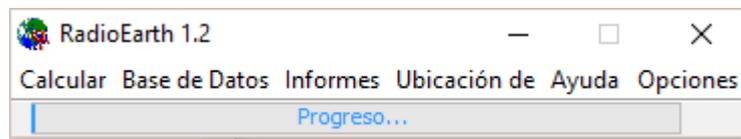


Figura 1 Menú principal de RadioEarth

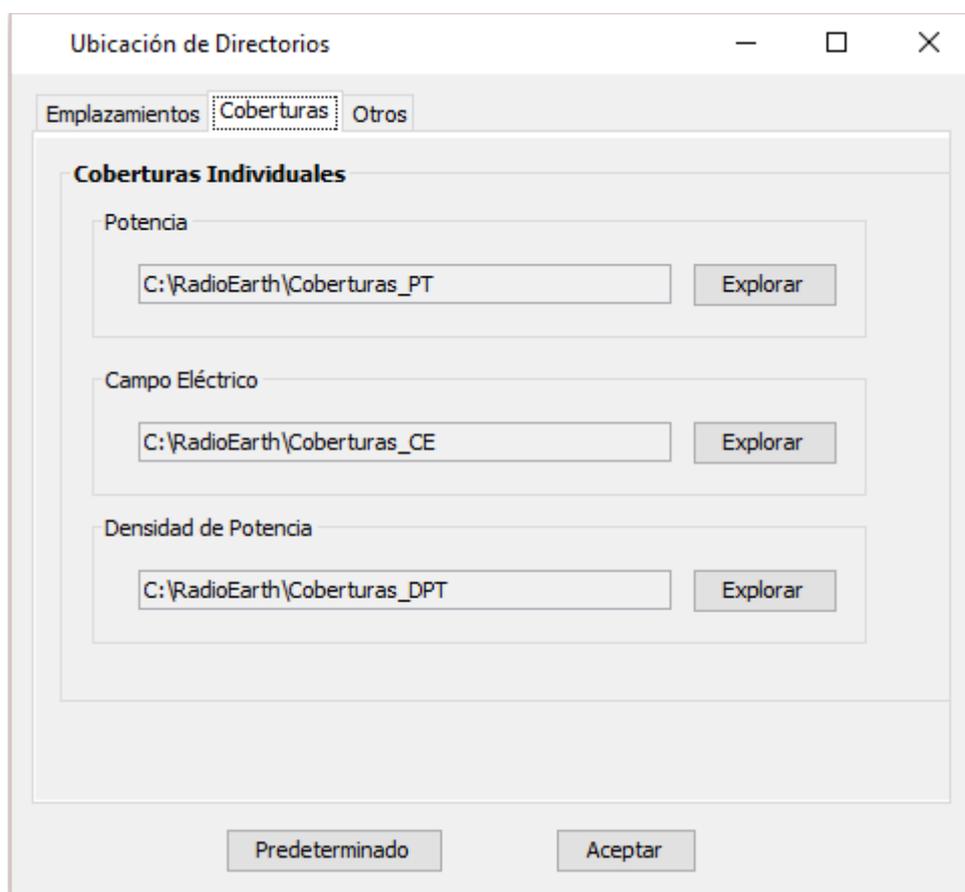


Figura 2 Menú de directorios de RadioEarth

2.3 Archivos xml

Los archivos xml se utilizan para almacenar datos y que otros programas puedan leerlos fácilmente. Se ha optado por este formato tanto para almacenar las rutas de los directorios mencionados en el anterior apartado (ver Figura 3), como para guardar los parámetros introducidos a la hora de calcular las diferentes coberturas, perfiles y

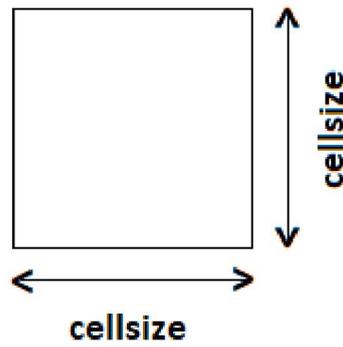


Figura 4 Dimensiones de una celda

El cuerpo de los datos consiste en una matriz de n columnas por m filas, que recorre el área de una porción de terreno. Los límites de esta matriz están definidos por el vértice colocado más al suroeste y definido por las coordenadas geográficas $xllcorner$ e $yllcorner$. Tomando este punto de referencia resultará sencillo moverse por la matriz utilizando el número de filas y columnas y la resolución de cada celda (ver Figura 5).

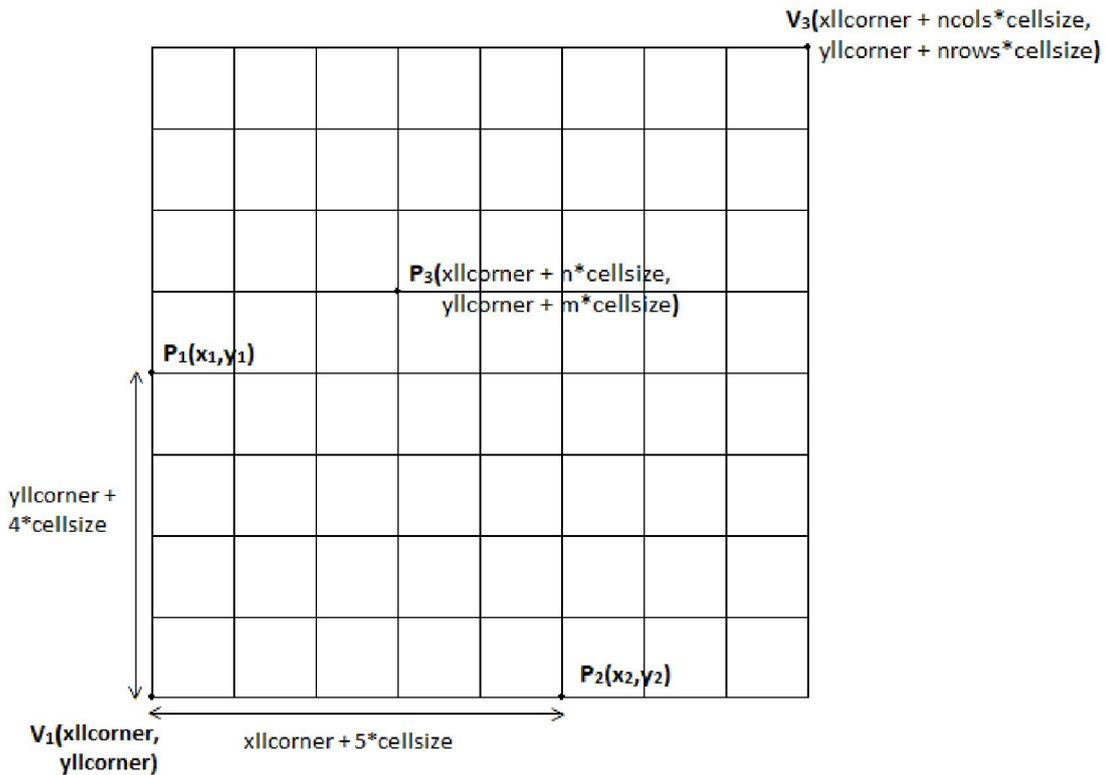


Figura 5 Representación de la matriz de celdas

Todos los puntos que se encuentren dentro de una misma celda tendrán el mismo valor de altura del terreno. Como se puede observar en la Figura 6, dicho valor es una estimación de las cotas de los vértices de la celda, los puntos notables localizados en el área interior a la celda y las distancias a dichos puntos.

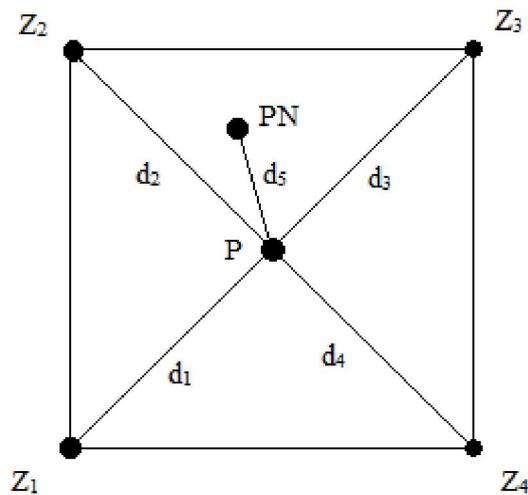


Figura 6 *Puntos en una celda*

Dicha estimación se ha calculado mediante interpolación a partir de la siguiente expresión:

$$z_j = \frac{\sum_i z_i / d_{ij}}{\sum_i 1 / d_{ij}}$$

donde \$z_j\$ se corresponde con la cota estimada, \$z_i\$ con las cotas de los puntos a ponderar y \$d_{ij}\$ son las distancias entre dichos puntos y el punto \$P\$ (ver Figura 6).

2.5 Google Earth en RadioEarth

2.5.1 Descripción

Google Earth [6] es un software creado por Keyhole Inc que muestra un globo terráqueo virtual (ver Figura 7). El mapa de *Google Earth* está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes de satélites, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por ordenador. Los globos virtuales, en concreto *Google Earth*, permiten comunicar datos y resultados de investigación en una perspectiva global intuitiva tridimensional (3D). A diferencia de los Sistemas de Información Geográfica (GISs) tradicional, los globos virtuales son de bajo coste y fáciles de usar en la recopilación de datos, exploración y visualización [7].

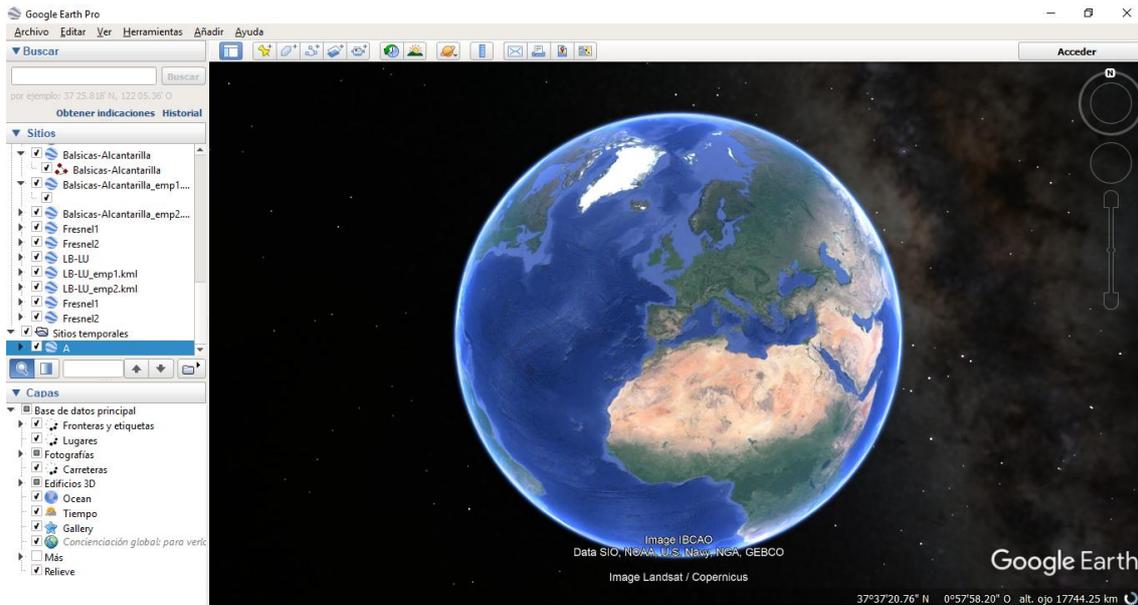


Figura 7 Google Earth

2.5.2 Google Earth COM API

Una API o interfaz de programación de aplicaciones, es el conjunto de funciones y métodos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción. El éxito de la *API de Google Earth* recae en que las funcionalidades de *Google Earth* se pueden integrar de forma muy precisa para servir a aplicaciones más complejas. El uso más extendido se ha dado a la hora de incrustar en navegadores web con plugins las aplicaciones de *Google Earth* desarrolladas en *JavaScript*. Sin embargo, en otros casos se ha optado por integrar *Google Earth* utilizando el mecanismo *Microft COM / ActiveX* basado en lenguajes de desarrollo como *C #*, *VB.NET* y *MatLab* [8]. Para el proyecto se optó por esta segunda opción.

Para que la aplicación desarrollada en JAVA pudiera interactuar con *Google Earth* se ha utilizado *Google Earth COM API*. La biblioteca *com4j* nos proporciona las librerías y clases necesarias para llevar a cabo esta interacción (ver Tabla 2).

IAnimationControllerGE	Contiene las opciones de animación y su control
IApplicationGE	Es la referencia principal del programa y el punto de entrada a la API de Google Earth
ICameraInfoGE	Esta interfaz describe el punto donde se centra la cámara y la orientación relativa de la misma sobre un punto en particular
IFeatureCollectionGE	Contiene un conjunto de características de Google Earth que pueden ser manipuladas

IFeatureGE	Contiene la representación básica de un archivo kml
IPointOnTerrainGE	Es el formato de retorno de la clase ISearchControllerGE.
ISearchControllerGE	Contiene opciones de búsqueda y controles
ITimeGE	Representa la fecha y la hora
ITimeIntervalGE	Representa un intervalo de tiempo, pero con un inicio y un final preestablecido
ITourControllerGE	Contiene las opciones y controles para reproducción.
IViewExtentsGE	Se usa para describir la posición de la vista actual en un sistema de coordenadas

Tabla 2- Clases de com4j recuperado de [4]

Cabe destacar que en 2015 Google decidió deshabilitar la API en cuestión por problemas de seguridad. Desde entonces, los desarrolladores de la API de Google Earth han estado buscando soluciones alternativas para migrar sus aplicaciones. Una solución alternativa bastante popular es Cesium, una biblioteca de globo terráqueo virtual basada en WebGL. Sin embargo, la migración a este tipo de bibliotecas de código abierto como Cesium y osgEarth puede requerir un gran esfuerzo de aprendizaje y desarrollo [8]. Este proyecto ha seguido contando con la librería de clases com4j para el desarrollo de la nueva funcionalidad, pero en futuras implementaciones se puede llegar un punto de incompatibilidad total. La industria del software informático se caracteriza por las continuas actualizaciones y la obsolescencia de aplicaciones.

2.5.3 Archivos KML

KML (*Keyhole Markup Language*) es un formato de archivo que se utiliza para mostrar datos geográficos en un navegador terrestre, *Google Earth* en este caso. KML utiliza una estructura basada en etiquetas con atributos y elementos anidados (ver Figura 8) y está basado en el estándar XML.

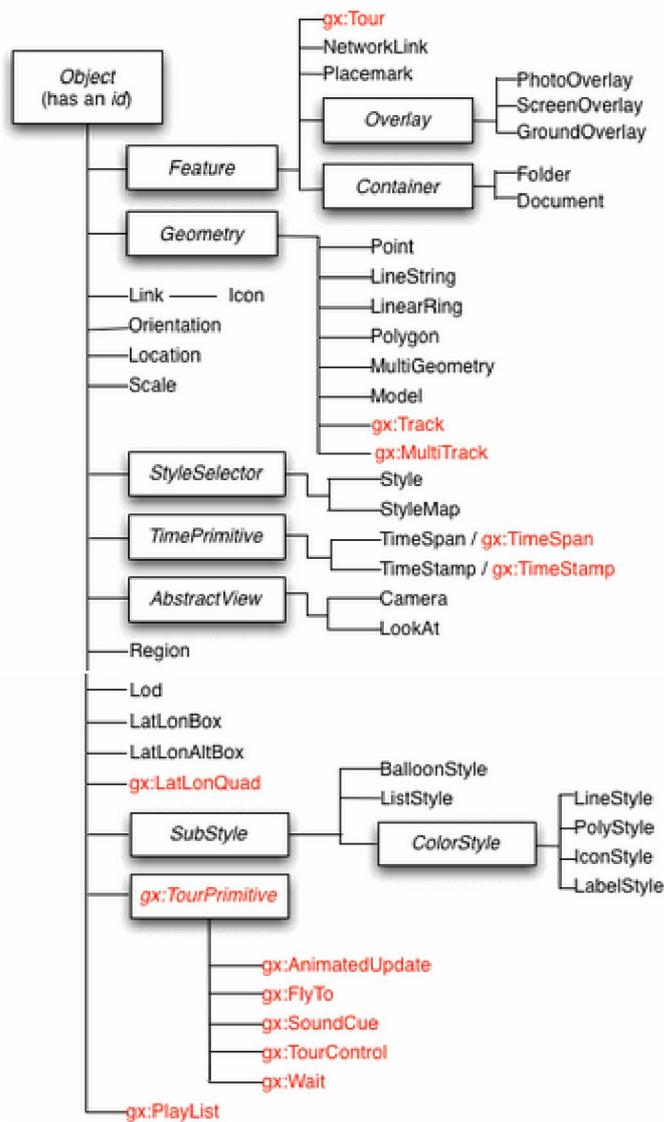


Figura 8 Diagrama de elementos KML recuperado de [9]

Mediante este tipo de archivos se pueden representar en Google Earth tanto puntos, líneas, polígonos y figuras como imágenes, vídeos y modelos 3D.

```

<kml>
  <Document>
    <name>A</name>
    <Style id='sh_placemark_circle_highlight'>
      <IconStyle>
        <scale>1.18182</scale>
        <Icon>
          <href>file:\C:\RadioEarth\logo.png</href>
        </Icon>
      </IconStyle>
      <ListStyle></ListStyle>
    </Style>
    <Style id='sn_placemark_circle'>
      <IconStyle>
        <Icon>
          <href>file:\C:\RadioEarth\logo.png</href>
        </Icon>
      </IconStyle>
      <ListStyle></ListStyle>
    </Style>
    <StyleMap id='msn_placemark_circle'>
      <Pair>
        <key>normal</key>
        <styleUrl>#sn_placemark_circle</styleUrl>
      </Pair>
      <Pair>
        <key>highlight</key>
        <styleUrl>#sh_placemark_circle_highlight</styleUrl>
      </Pair>
    </StyleMap>
    <Placemark>
      <name>A</name>
      <LookAt>
        <longitude>-0.9524</longitude>
        <latitude>37.585567</latitude>
        <altitude>0</altitude>
        <range>18489.58723595727</range>
        <tilt>-1.406457088801211e-012</tilt>
        <heading>1.674804286739567</heading>
      </LookAt>
      <styleUrl>#msn_placemark_circle</styleUrl>
      <Point>
        <coordinates>-0.9524,37.585567,0</coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>

```

Figura 9 Archivo KML del emplazamiento A

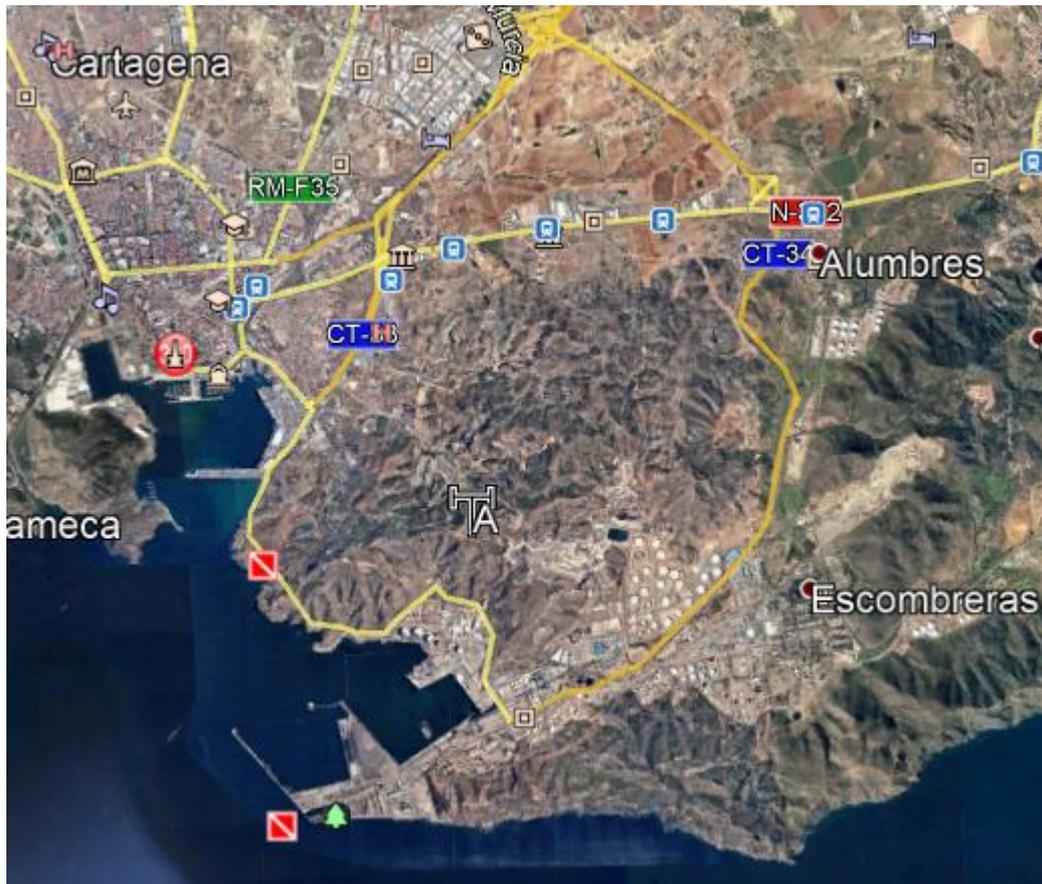


Figura 10 Representación de emplazamiento A en Google Earth

2.6 Sistemas de Coordenadas

2.6.1 Sistema de coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas, son aquellas que referencian cualquier punto de la superficie terrestre empleando para ello dos coordenadas angulares: latitud y longitud.

La latitud se define como la distancia angular de cualquier punto de la superficie terrestre respecto al Ecuador, que corresponde al paralelo de referencia con una latitud 0°. La latitud es siempre norte o sur, teniendo un máximo de 90° latitud Norte (Polo Norte) y 90° de latitud Sur (Polo Sur). Todos los puntos localizados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.

La longitud se define como la distancia angular de cualquier punto de la superficie terrestre respecto al meridiano de Greenwich, que corresponde al meridiano de referencia con longitud 0°. La longitud es siempre este u oeste, teniendo un máximo de 180° de longitud este y 180° de longitud oeste. Al igual que ocurre en el caso de la latitud, todos

los puntos localizados sobre el mismo meridiano tienen la misma longitud (ver Figura 11).

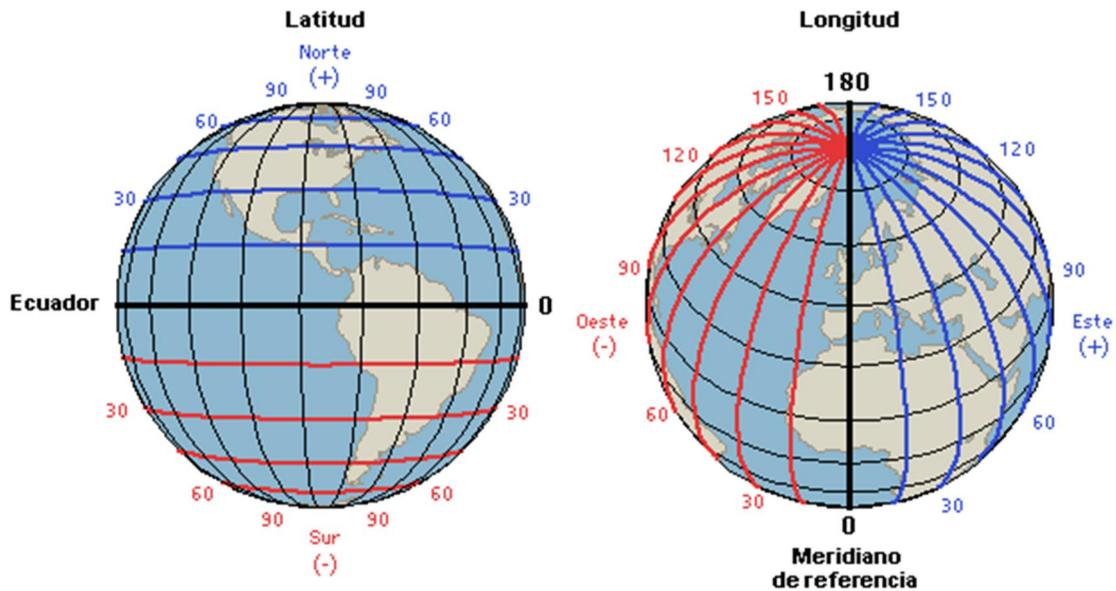


Figura 11 Representación de latitudes (a) y longitudes (b) recuperado de [10]

2.6.2 Sistema de coordenadas UTM

El Sistema Universal Transversal Mercator [10] es una proyección que permite cartografiar cualquier zona de la Tierra. Está basado en la proyección geográfica transversal de Mercator, una proyección cilíndrica. La proyección de Mercator resulta de la proyección de una esfera (la Tierra) en un cilindro tangente a un meridiano central, en particular el Ecuador de la Tierra. La proyección transversal de Mercator se construye igual que la presentada en el apartado anterior, pero en lugar de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano (ver Figuras 12 y 13).

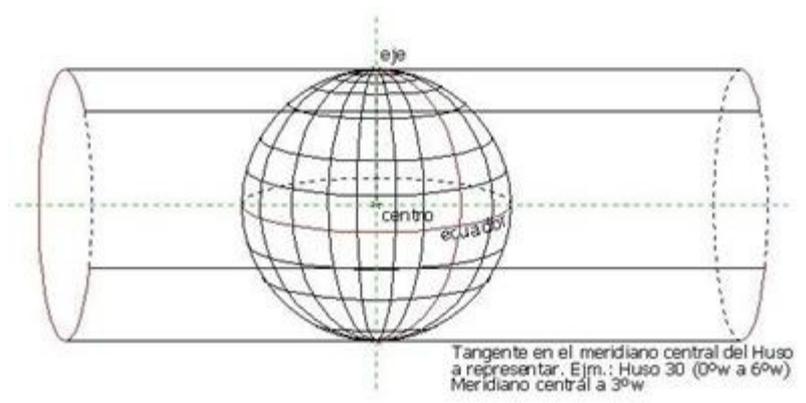


Figura 12 Cilindro generador de la proyección UTM recuperado de [11]

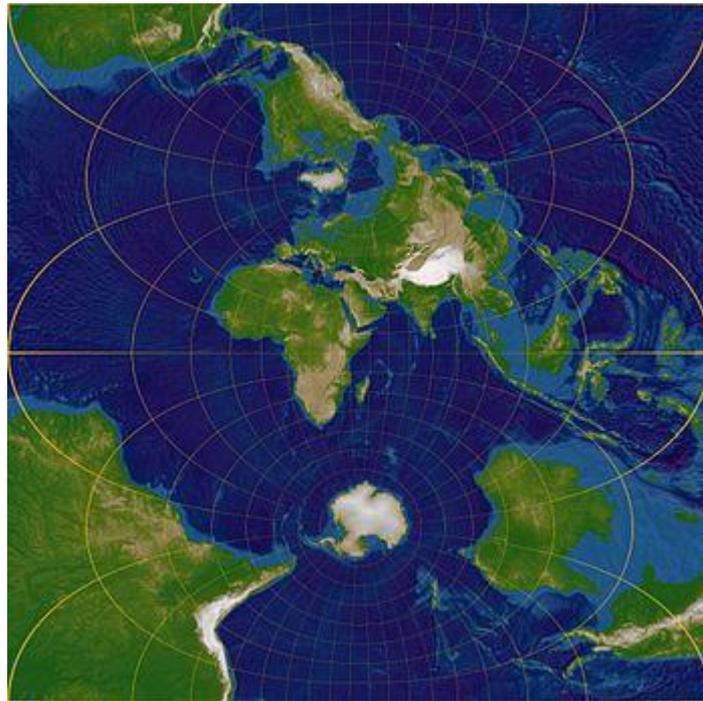


Figura 13 Mapa del mundo en proyección transversa de Mercator recuperado de [12]

El sistema UTM divide la superficie de la Tierra en sesenta husos longitudinales. Cada huso tiene 6° de amplitud y están numerados de oeste a este del 1 al 60 empezando en 180° (ver Figura 14). Este sistema no se usa en las regiones polares debido a las grandes distorsiones que se dan, en su lugar se usa el sistema Polar Estereográfico Universal (*Universal Polar Stereographic, UPS*). Cada uno de los 60 husos se divide en 20 zonas latitudinales que empiezan en los 80° sur y se denota con las letras *C* a *X*, omitiendo la *I*, *LL* y *O*. Cada una tiene 80° de sur a norte, menos la zona *X*, que tiene 12° .

En coordenadas UTM una posición se define mediante tres elementos: las coordenadas *E* (eje horizontal), las coordenadas *N* (eje vertical), el huso y el hemisferio en el que se encuentra. Estas coordenadas son las distancias lineales en metros en los ejes *E* y *N* de referencia dentro de cada huso y no coinciden con las coordenadas geográficas (latitud y longitud). Por ejemplo, la ciudad de Murcia se encuentra en la cuadrícula 30S.

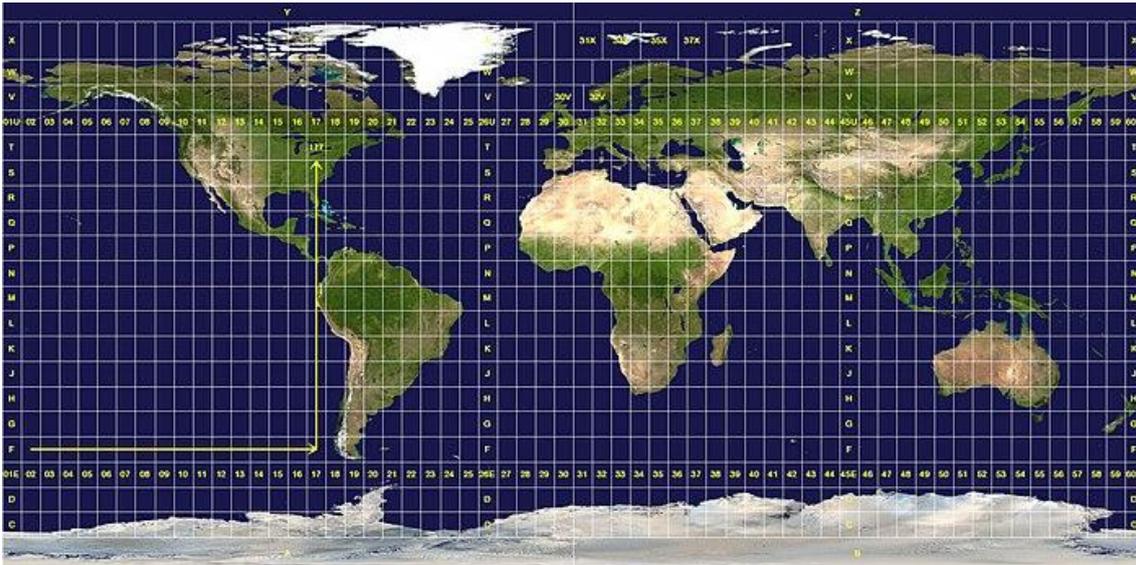


Figura 14 Husos y zonas UTM recuperado de [12]

A la hora de interactuar con *Google Earth* es necesario tener en cuenta qué sistema de coordenadas es el adecuado para cada ocasión. Por ejemplo, a la hora de hacer una captura del mapa en *Google Earth*, las coordenadas capturadas se obtienen en latitud y longitud. Sin embargo, cuando dichas coordenadas geográficas sean reportadas a *RadioEarth* en forma de parámetros, será necesario convertirlas a coordenadas UTM, puesto que los ejecutables creados para calcular coberturas las esperan en ese formato. A la hora de calcular radioenlaces ocurre lo mismo, pero en este caso ha sido en el ejecutable donde se han introducido las conversiones a las coordenadas oportunas.

2.7 Funcionalidades

2.7.1 Contenido global

RadioEarth presenta multitud de funcionalidades para el estudio y análisis radioeléctrico. En la figura 15 se muestra un esquema con los distintos paneles que componen el menú. Con esta herramienta se pueden calcular desde coberturas de potencia en cualquier punto hasta perfiles de visibilidad entre un transmisor y un receptor.

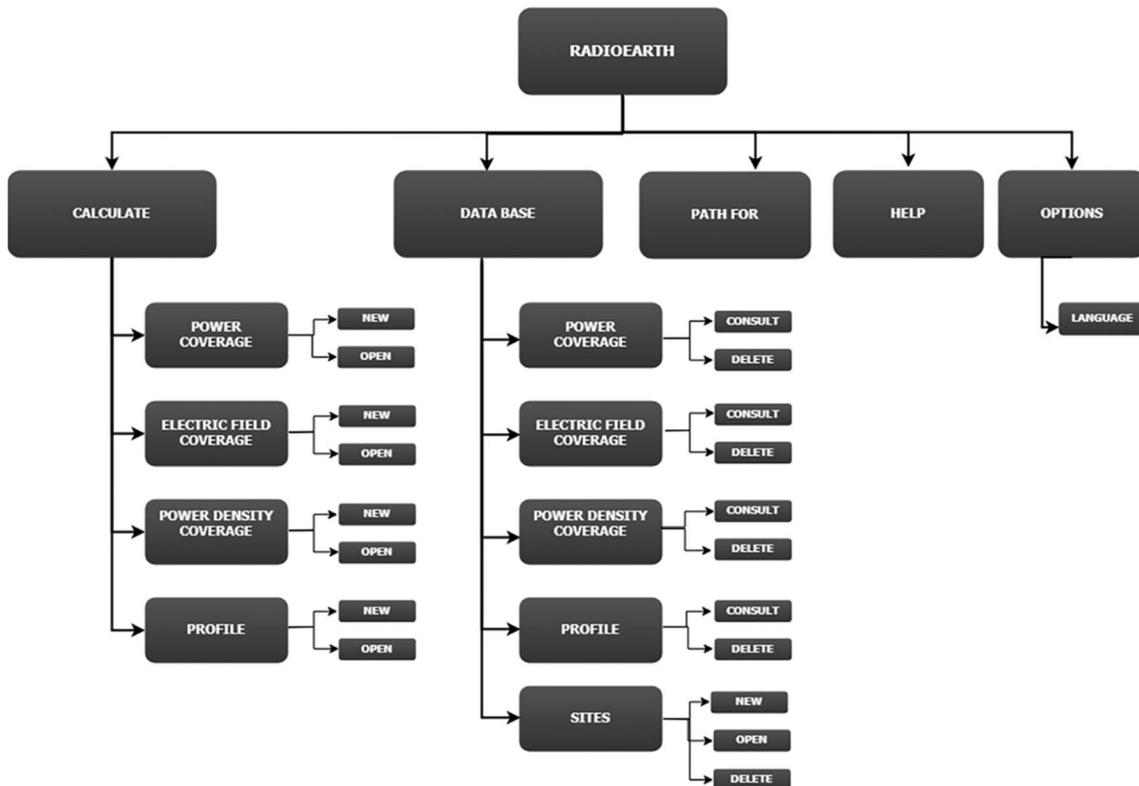


Figura 15 Diagrama de bloques de RadioEarth recuperado de [3]

Existen distintas bases de datos que almacenan los emplazamientos creados o los resultados de coberturas y perfiles calculados. Dentro de cada uno de los directorios que se crean al instalar el programa, se van creando los directorios de bases de datos según se vayan generando. En cualquier punto se podrán consultar o eliminar dichas bases de datos.

2.7.2 Cálculo de coberturas radioeléctricas

Para el cálculo de coberturas de potencia, de campo eléctrico o de densidad de potencia, *RadioEarth* incorpora tres modelos de propagación diferentes (espacio libre, UITR-526 [13], y UITR-1546 [14]). Éstos estiman las pérdidas de propagación en entorno rural. En la figura 16 se ilustra el procedimiento a realizar a la hora de crear una cobertura.

En primer lugar, se le debe dar un nombre a la cobertura que vamos a crear. En la parte inferior del menú aparecen todas las coberturas creadas anteriormente. Se podrán establecer unos ciertos parámetros por defecto seleccionando el tipo de sistema del que se trata, ya sea FM, TDT, TETRA, GSM, UMTS, WiFi o WiMAX.

A continuación, aparecerá el menú de parámetros de transmisión seguido del menú de parámetros de recepción. Se debe introducir una PIRE (Potencia Radiada Isótropa Equivalente) adecuada o bien la potencia transmitida, la ganancia del transmisor y las pérdidas de transmisión. Las unidades por defecto de las medidas de potencia son

dBm, aunque se pueden seleccionar otras unidades distintas si se desea. Las ganancias y las pérdidas se medirán en dB. También habrá que especificar un valor umbral a partir del cual se considerará que el receptor detecta la potencia que le llega.

Acto seguido aparecerá el panel de Pérdidas de Propagación, que contiene los menús de la estación base, la estación móvil, parámetros comunes y área de cálculo. Una vez completados todos los campos se procederá al cálculo de cobertura (ver Figura 17). Las coordenadas del emplazamiento de la estación base se toman directamente de *Google Earth*, haciendo una captura del mapa, o bien seleccionando uno de los ya creados en la base de datos *Emplazamientos*. La estación móvil, como su propio nombre indica, no tendrá una posición fija. Se deben fijar las alturas a las que se encuentran ambas estaciones. En cuanto al patrón de radiación, se proporcionan tres tipos de antenas: antena isotrópica, que es la opción predeterminada, antena omnidireccional y antena sectorizada. En el menú de parámetros comunes se especificará la frecuencia de trabajo y el factor k (curvatura de la Tierra) [5]. Se seleccionará uno de los modelos de propagación mencionados anteriormente y el MDT (Mapa Digital del Terreno) oportuno. El MDT, como ya se ha explicado en el apartado 2.4, es un archivo que contiene una cabecera con todos los parámetros necesarios para situarlo geográficamente y un cuerpo de datos con los valores de altura de cada uno de los puntos medidos. Como se puede observar en la Figura 16, se creó una función de cálculo automático de coberturas, la cual consistía en la descarga automática de un fichero en formato .hgt.zip correspondiente a la zona donde la cobertura iba a ser calculada de un servidor procedente de *U.S. Geological Survey* [15]. Debido a problemas con la descarga de dicho fichero y a que no se ha podido solucionar el conflicto, se ha optado por deshabilitar la opción auto de *RadioEarth* para el cálculo de coberturas de potencia, campo eléctrico y densidad de potencia (ver Figura 18). Finalmente habrá que definir los parámetros del área de cálculo de cobertura radioeléctrica. La forma del área disponible es circular, se debe definir un radio de cobertura, y el centro lo toma de las coordenadas seleccionadas para el emplazamiento de la estación base.

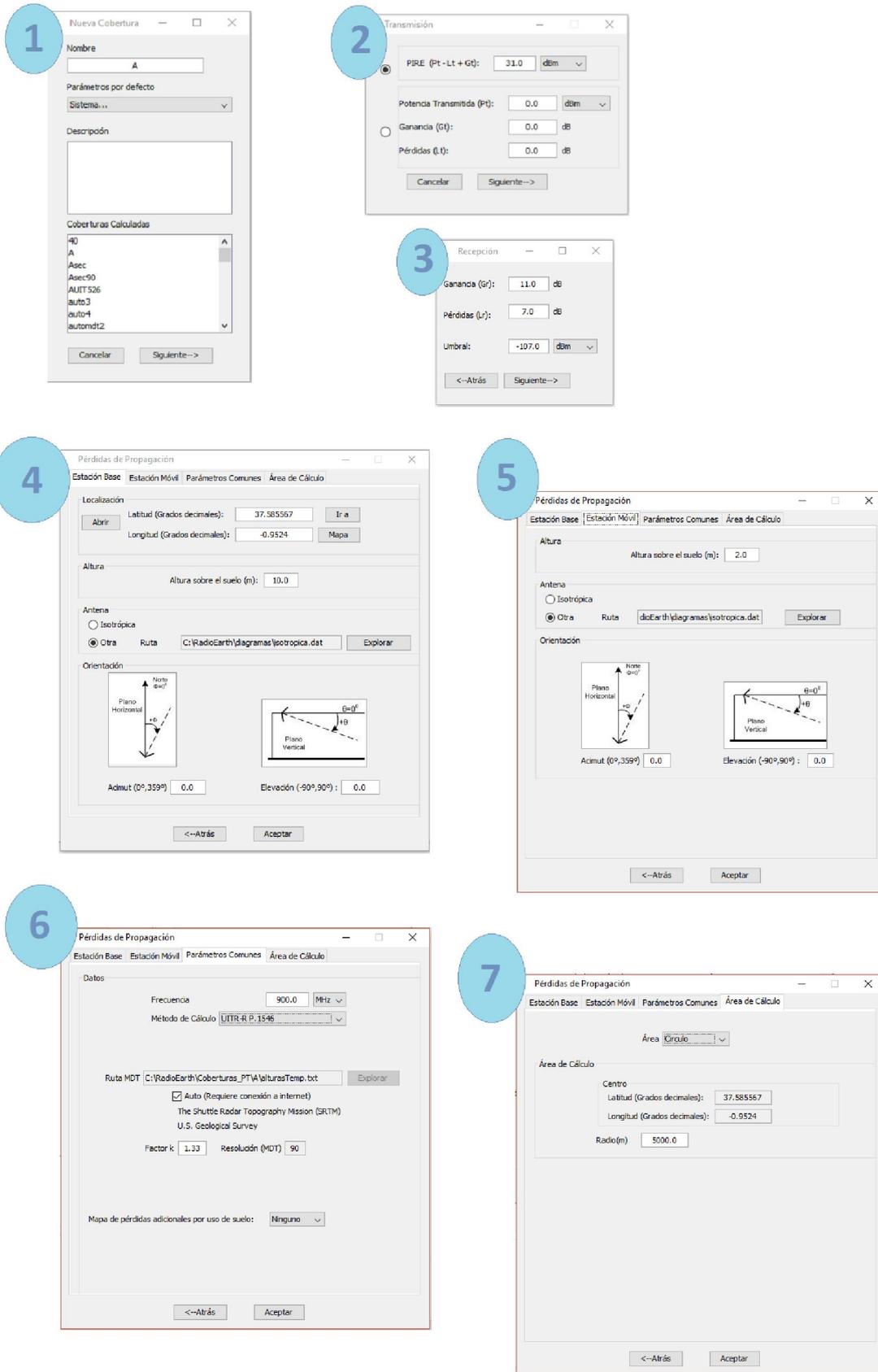


Figura 16 Procedimiento para el cálculo de cobertura de potencia A



Figura 17 Cobertura de potencia A_2

Pérdidas de Propagación

Estación Base | Estación Móvil | **Parámetros Comunes** | Área de Cálculo

Datos

Frecuencia: 900.0 MHz

Método de Cálculo: UITR-R P. 1546

Ruta MDT: C:\RadioEarth\Coberturas_PT\A_2\alturasTemp.txt

Factor k: 1.33 Resolución (MDT): 7272

Mapa de pérdidas adicionales por uso de suelo: Ninguno

Figura 18 Panel de Parámetros Comunes con la opción auto deshabilitada

2.7.3 Cálculo de perfiles

La funcionalidad de cálculo de radioenlaces permite trazar una línea imaginaria entre dos puntos, y obtener las cotas del terreno de las coordenadas sobre las cuales se encuentra dicha línea. Se utiliza para realizar estudios de visibilidad entre un transmisor y un receptor.

Para realizar este cálculo, la funcionalidad programada inicialmente contaba con la descarga directa del perfil procedente de la base de datos proporcionada por la *API de Google Maps*. A la ruta de descarga: <http://maps.google.com/maps/api/elevation/xml> se le añadían las coordenadas en latitud y longitud de transmisor y receptor, y el número de puntos a representar entre ellos. La implementación en JAVA se encargaba de procesar y representar los datos proporcionados por la *API de Google Maps*, los cuales se daban en formato *xml*.

Como se ha explicado en el apartado 2.5.2, a finales de 2015, Google decidió cerrar sus API's, por tanto, esta descarga dejó de funcionar. En el siguiente capítulo se explicará cuál ha sido la solución a este inconveniente.

Calcular Perfil

Nombre

Origen

Latitud °

Longitud °

Altura m

Destino

Latitud °

Longitud °

Altura m

Parámetros Radioeléctricos

Frecuencia MHz

Factor K

Figura 19 Menú para el cálculo de radioenlaces

CAPÍTULO 3

Nueva funcionalidad de la aplicación RadioEarth

3.1 Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos formados por la revolución de la Figura 20 alrededor del eje TR . Si consideramos el trayecto radioeléctrico en espacio libre TR , se puede demostrar que el campo producido en este trayecto equivale a la resultante de las contribuciones de campo producidas por anillos de radios R_{n-1} , R_n dispuestos en planos ortogonales al eje TR y situados a distancias d_1 y d_2 de T y R , respectivamente. [5]

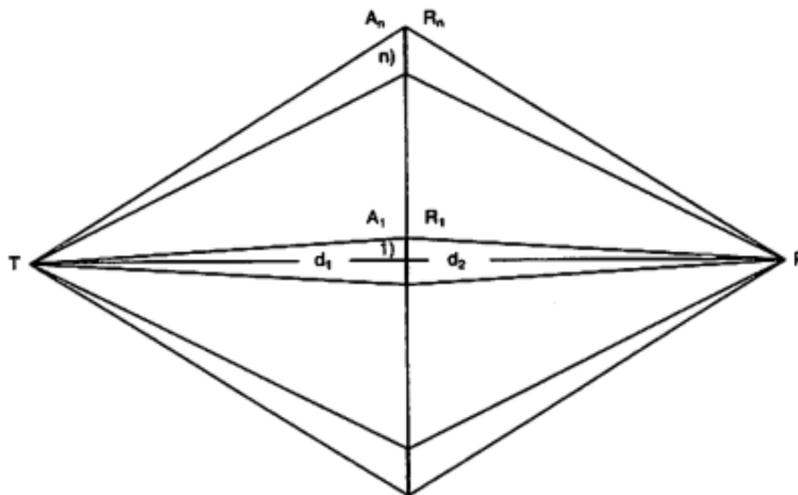


Figura 20 Anillos n -simos que delimitan cada zona de Fresnel [5]

Como se puede observar en la Figura 21, las secciones de los elipsoides normales al trayecto de propagación TR son círculos concéntricos los cuales agrupan las ondas secundarias pertenecientes a la misma zona de Fresnel, es decir, cada anillo define y delimita una zona de Fresnel. A su vez, el radio de cualquier zona de Fresnel posee su máximo valor si el obstáculo está situado en medio del transmisor y el receptor.

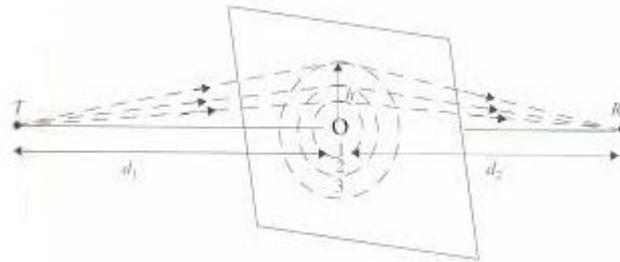


Figura 21 *Círculos concéntricos que definen los límites de las zonas de Fresnel [5]*

Los radios de los anillos cumplen la condición:

$$TA_nR - TR = n\lambda/2 \quad (1)$$

de donde se deduce:

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (2)$$

En unidades prácticas resulta:

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{nd_1 d_2}{fd}} \quad (3)$$

donde:

- R_n : radio de la n-ésima zona de Fresnel (m)
- f : frecuencia (MHz)
- d_1 : distancia del transmisor al plano considerado (km)
- d_2 : distancia del plano considerado al receptor (km)
- d : distancia transmisor – receptor (km)

El análisis de la influencia de obstáculos se realiza mediante los elipsoides de Fresnel, considerando que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo dentro del primer elipsoide. Cuando el rayo pasa cerca de un obstáculo o es interceptado por él, experimenta una pérdida debida a la difracción. Se denomina “despejamiento” a la distancia h entre el rayo y el obstáculo.

En las Figuras 22 y 23 se muestra el despejamiento cuando el rayo directo no intercepta el obstáculo y cuando sí lo hace, respectivamente. Estas condiciones de h están establecidas por la Recomendación UIT-R P-526 [13].

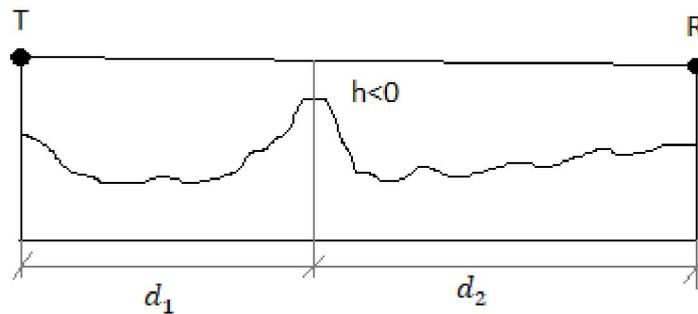


Figura 22 Perfil entre T y R con despejamiento negativo

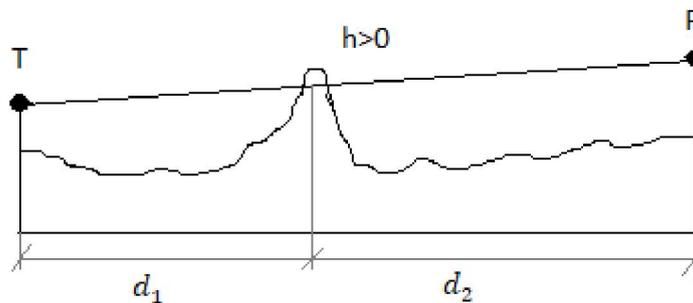


Figura 23 Perfil entre T y R con despejamiento positivo

3.2 Representación de perfiles

La representación de perfiles del terreno se realiza llevando las cotas de los puntos sobre una línea de base o “curva de altura cero” parabólica, que representa la curvatura de la Tierra ficticia con radio kR_0 [5]. Se denomina Tierra ficticia porque la curvatura del radio de la Tierra está modificada mediante el factor k . A la ordenada de esta curva, para la abscisa genérica x , también se le denomina *flecha*, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$f(x) = 0,07849 \cdot \frac{x(d-x)}{k} \quad (4)$$

En la siguiente figura se puede observar la representación de un perfil teniendo en cuenta la *flecha* anteriormente mencionada.

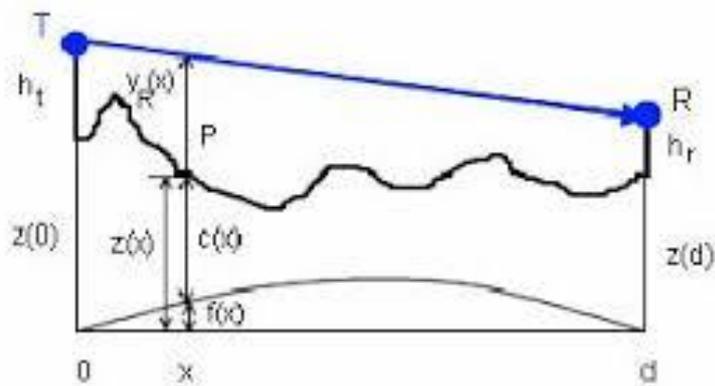


Figura 24 Representación de un Perfil recuperado de [5]

3.3 Nuevo módulo implementado

En el apartado 2.7.3 ya se adelantaba el problema causado por la decisión de Google de deshabilitar sus API's. En este capítulo se presenta la solución al inconveniente, que consiste en calcular el perfil a partir de los mapas digitales del terreno, en lugar de obtenerlo mediante la descarga directa desde la API de Google Maps.

Para ello, como se puede observar en la Figura 25, se ha añadido un campo en el panel *Calcular Perfil* donde se introducirá el mapa digital del terreno o *MDT* oportuno. Los archivos *MDT* deben estar previamente almacenados. Por defecto aparecerá el directorio *C:\RadioEarth\mdt_ascii*, sin embargo, si se localizan en otro lugar, se pueden buscar por el árbol de directorios.

En primer lugar, se le da un nombre al perfil, en el caso de que ya exista un perfil con el mismo nombre en la base de datos al pulsar en el botón *Calcular* aparecerá la opción de sobrescribir o renombrar el perfil a calcular.

A continuación, se deben introducir las coordenadas de los emplazamientos en los que se situarán transmisor y receptor, ya sea introduciéndolas manualmente, cargando los valores de los emplazamientos ya creados almacenados en la base de datos o haciendo

una captura del mapa desde *Google Earth*. Además, se deben introducir las alturas respecto al suelo a las cuales se colocarán las antenas, las cuales se tendrán en cuenta a la hora de representar el perfil.

Por último, se introducirán los parámetros radioeléctricos correspondientes a frecuencia y factor k. El último se utilizará a la hora de calcular la *flecha*, como se ha explicado en el apartado anterior. Su valor predeterminado es 1,33, es decir 4/3, aunque se puede introducir el valor que se desee. Este valor influirá en el cálculo de las zonas de Fresnel y en la representación del perfil.

Calcular Perfil

Nombre

Origen

Latitud °

Longitud °

Altura m

Destino

Latitud °

Longitud °

Altura m

Parámetros Radioeléctricos

Frecuencia MHz

Factor K

MDT

Ruta ...

Figura 25 Menú *Calcular Perfil* implementado

Al igual que ocurre con las coberturas radioeléctricas, todos los parámetros del panel anterior se almacenarán en un archivo *xml* que define las características del perfil, para poder recuperarlo en cualquier momento.

Los cálculos obtenidos se representarán tanto sobre el mapa de *Google Earth* directamente, como en una gráfica del perfil. Como se ha explicado en el *Capítulo 2*, para realizar estas operaciones se deben llevar a cabo ciertas conversiones de unidades. Mientras que para el primer caso las coordenadas de los emplazamientos y de la línea que

los que se incluirán en los archivos *kml* correspondientes en grados, en el segundo caso será necesario convertirlas a unidades decimales para poder representar el perfil en dos dimensiones.

A continuación, se muestra parte del código implementado para crear el perfil. Como ya se ha explicado en el apartado anterior, para representar un perfil correctamente es necesario añadir la *flecha* o curvatura de la Tierra, lo cual se ha realizado en el siguiente método:

```
private void addCurvaturaTierra() {
    double fx = 0;
    for(int i=0; i<elevaciones.length; i++) {
        fx = (0.07849/factorK) * (i*resolucion/1000) * (((elevaciones.length-
1-i)*resolucion)/1000);
        elevaciones[i] = elevaciones[i]+fx;
    }
}
```

Donde el vector *elevaciones* almacena los valores de las cotas calculadas por el ejecutable *perfil.exe*, cuyo funcionamiento e implementación se explica en el siguiente apartado. Además, se representa la primera zona de Fresnel, ya que es un factor indispensable para el análisis de radioenlaces. Parte del código necesario para su representación se muestra a continuación:

```
double [] radioFresnel =new double[alturas.length];

for(int i=0; i< radioFresnel.length; i++){

    radioFresnel[i] = 548 * (Math.sqrt((d1[i]*d2[i]) / (frecuencia*distancia)));

    //System.out.println("Radio de Fresnel "+i+" :"+radioFresnel[i]);

}
```

Donde el vector *alturas* contiene los valores de las cotas de la línea de rayo directo que une un transmisor y receptor.

3.4 Herramienta para el cálculo de radioenlaces

El cálculo de radioenlaces entre un transmisor y un receptor se ha realizado en el entorno de desarrollo MATLAB, el cual cuenta con un lenguaje de programación propio, lenguaje M. Esta decisión se ha tomado en base a la capacidad de este software de comunicarse con otros lenguajes de programación, en nuestro caso JAVA, y a la sencillez que aporta a la hora de operar con *arrays*.

Los parámetros de entrada del programa para el cálculo de perfiles son las latitudes y longitudes respectivas del transmisor y del receptor, y el modelo digital del terreno (MDT) deseado. El programa calcula las alturas sobre el terreno que interceptan la trayectoria de la recta que une un transmisor y un receptor. Como se ha explicado en el *Capítulo 2*, cada celda tendrá un mismo valor, por lo que cada uno de los puntos que se encuentren en una misma celda tendrán la misma cota (ver Figura 26).

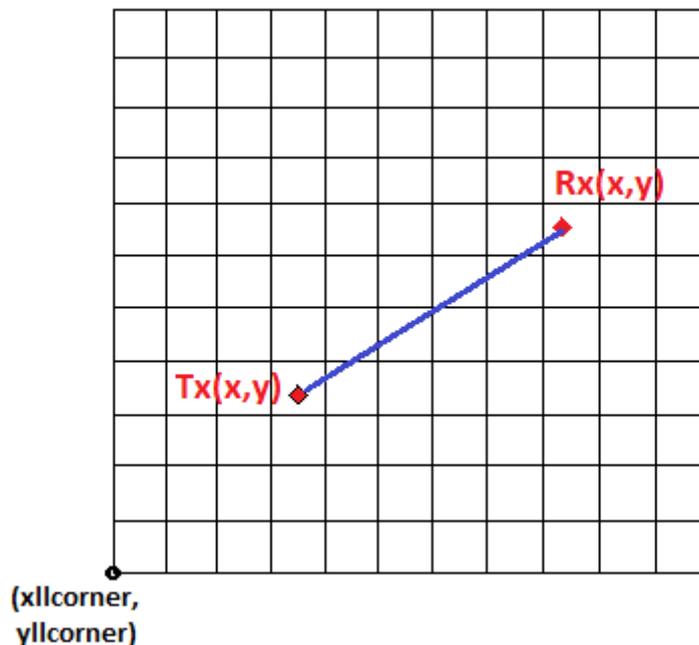


Figura 26 Representación del perfil entre Tx y Rx sobre las celdas del MDT

En primer lugar, se deben leer y procesar los datos de la cabecera, los cuales nos informan del entorno sobre el que vamos a trabajar. Cabe destacar que a la hora de realizar un ejecutable de este programa, los datos los toma como *'String'* por lo que primeramente debemos convertirlos en datos de tipo *'Double'*. A continuación, se muestra el código implementado.

```

function matriz_perfil = perfil( LatitudA,LongitudA,LatitudB,LongitudB,mdt_file)

%Los argumentos de entrada se han pasado como string
Latitud_A=str2double(LatitudA);
Longitud_A=str2double(LongitudA);
Latitud_B=str2double(LatitudB);
Longitud_B=str2double(LongitudB);

%Leo los valores de la cabecera del MDT
fid2 = mdt_file;
fileID= fopen(fid2,'r');
C = textscan(fileID, '%s %s',6);
fclose(fileID);
D(:,1) =C{1};
D(:,2) =C{2};

ncols=D(1,2);
nrows=D(2,2);
x0=D(3,2);
y0=D(4,2);
cellsize=D(5,2);
num_colum=str2double(ncols);
num_filas=str2double(nrows);
X0=str2double(x0);
Y0=str2double(y0);
resolucion=str2double(cellsize);

```

Una vez procesados los datos de la cabecera se borrarán para permitir una mayor facilidad de operación con la matriz del cuerpo de los datos (ver código implementado a continuación)

```

%elimino las filas de la cabecera
fid=fopen(mdt_file);
i=1;
while 1
linea = fgetl(fid);
if ~ischar(linea),
    break,
end
L=str2num(linea);
if ~isempty(L)
    M(i,:)=L;
    i=i+1;
end
end
fclose(fid);
M;

%matriz de alturas extraidas del MDT
matriz_alturas=M;

```

Google Earth nos proporciona las coordenadas de transmisor y receptor en coordenadas geográficas (latitud y longitud). Será necesario pues convertirlas a coordenadas UTM para poder representar el perfil en dos dimensiones [5] (ver código implementado a continuación).

```

%conversion coordenadas GPS a UTM
[XA,YA,zonaA] = deg2utm(Latitud_A,Longitud_A);
[XB,YB,zonaB] = deg2utm(Latitud_B,Longitud_B);

%Hallo distancia y puntos de mi perfil
d=sqrt(((XB-XA)^2)+((YB-YA)^2));
N=ceil(d/resolucion);

%Sitúo los vértices en el plano
xllcorner=X0;
yllcorner=Y0;
v1=[xllcorner,yllcorner];
vertice_2x=xllcorner;
vertice_2y=yllcorner+(num_filas*resolucion);
v2=[vertice_2x,vertice_2y];
vertice_3x=xllcorner+(num_colum*resolucion);
vertice_3y=yllcorner+(num_filas*resolucion);
v3=[vertice_3x,vertice_3y];
vertice_4x=xllcorner+(num_colum*resolucion);
vertice_4y=yllcorner;
v4=[vertice_4x,vertice_4y];

```

Una vez calculado el número de puntos N que tendrá el radioenlace, definimos los ejes y calculamos los valores de altura sobre el terreno que hay para cada uno de esos N puntos. Para ello, se ha implementado el siguiente código:

```

%defino el vector que recorrerá el perfil
eje_abscisas=linspace(XA,XB,N);
eje_ordenadas=linspace(YA,YB,N);
perfil=[eje_abscisas;eje_ordenadas];

%calculo del perfil

for i=1:N
    m=(ceil((ceil(perfil(1,i)) - v2(1))/resolucion)); %variacion en x
    n=(ceil((v2(2)-floor(perfil(2,i)))/resolucion)); %variacion en y

    if (m<1)
        m=1;
    end

    if (n<1)
        n=1;
    end

    %Alturas de cada punto
    alturas_perfil(i)=matriz_alturas(n,m);
end

matriz_locations=[perfil(1,1:N);perfil(2,1:N)];
vector_elevaciones=alturas_perfil(:);

```

A la hora de devolver los resultados se debe realizar una nueva conversión a coordenadas geográficas (ver código a continuación) puesto que es el tipo de datos que espera el programa base.

```

%conversion coordenadas UTM a GPS
x=zeros(1,N);
y=zeros(1,N);
zona_matriz = repmat(zonaA,N);
zona_array=zona_matriz(:,1:4);

for i=1:N
    x(i)=perfil(1,i);
    y(i)=perfil(2,i);
end

[Lat,Lon]=utm2deg(x,y,zona_array);

%resultado
matriz_perfil=[Lat,Lon,vector_elevaciones];

```

Por último, se ha creado un directorio *C:\RadioEarth\Perfiles\Perfiles_archivos* donde se almacenarán los archivos temporales con los resultados obtenidos, para su posterior lectura desde el programa principal (JAVA).

```

%escritura de datos
archivo_locations_lat='archivo_locations_lat.txt';
archivo1 = fopen(archivo_locations_lat,'w+');
fprintf(archivo1,'%4.6f \n',Lat);
fclose(archivo1);
copyfile 'archivo_locations_lat.txt' 'C:\RadioEarth\Perfiles\Perfiles_archivos'

archivo_locations_lon='archivo_locations_lon.txt';
archivo2 = fopen(archivo_locations_lon,'w+');
fprintf(archivo2,'%4.6f \n',Lon);
fclose(archivo2);
copyfile 'archivo_locations_lon.txt' 'C:\RadioEarth\Perfiles\Perfiles_archivos'

archivo_perfiles='archivo_perfil.txt';
archivo3 = fopen(archivo_perfiles,'w+');
fprintf(archivo3,'%4.6f \n',vector_elevaciones);
fclose(archivo3);
copyfile 'archivo_perfil.txt' 'C:\RadioEarth\Perfiles\Perfiles_archivos'

```

Una vez programado lo anterior, es necesario comunicarlo con el programa de JAVA. MATLAB posee API's para diferentes lenguajes de programación: C++, JAVA, Python, Fortran, etc. En un principio se optó por usar la API del motor de Matlab para JAVA (Matlab Engine) [16], la cual compilaba el programa desarrollado en Matlab como librerías de Java. Éstas proporcionaban las clases necesarias para la conversión de datos de Java a Matlab y viceversa, y para el manejo de cellstrs, estructuras y arreglos de discos complejos. El problema que surgió fue que el Matlab Engine no ha sido incorporado hasta la release de 2016, la cual ya no soporta 32 bits. Por tanto, al compilar las librerías, se compilarían como librerías de 64 bits, y no serían compatibles con las librerías utilizadas para el desarrollo de *RadioEarth*. Debido a esta incompatibilidad, finalmente se ha optado por crear un ejecutable .exe del programa desarrollado en Matlab, mediante la herramienta Application Compiler. Para que el .exe se pueda ejecutar en un ordenador en el cual no está instalado Matlab es necesario tener instalado el MCR (Matlab Compiler Runtime). Esta llamada al ejecutable se ha realizado mediante los métodos de la clase *ProcessBuilder* de JAVA.

CAPÍTULO 4

Resultados

4.1 Resultados en RadioEarth

Para comprobar los resultados obtenidos, se ha realizado el cálculo de tres perfiles radioeléctricos diferentes, uno en el que haya visibilidad directa entre transmisor y receptor, y otros dos en los que los obstáculos interfieran en el rayo directo o en alguna de las zonas de Fresnel. Para poder observar claramente la influencia de los obstáculos en los resultados, se han colocado intencionadamente los transmisores y receptores en puntos que propiciaran estas situaciones.

En primer lugar, en el menú principal de *RadioEarth* se selecciona *Calcular Perfil* (ver Figura 27). Crearemos un perfil nuevo.

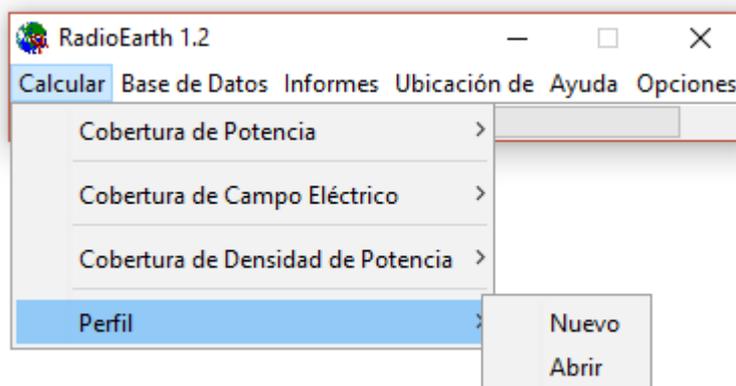


Figura 27 Menú principal de *RadioEarth* con la opción *Calcular Perfil* seleccionada

Para el cálculo del primer perfil radioeléctrico se ha colocado el transmisor en la población de Gebas, a una altura de 10 metros respecto del suelo. El receptor se ha colocado en Librilla, a la misma distancia del suelo que el transmisor. Las coordenadas de estos dos puntos se han obtenido a partir de una captura del mapa (ver Figura 29)

The image shows a software window titled "Calcular Perfil" with the following fields and controls:

- Nombre:** Gebas-Librilla
- Origen:**
 - Latitud: 37.894352 ° (with "abrir" button)
 - Longitud: -1.453810 ° (with "mapa" button)
 - Altura: 10 m
- Destino:**
 - Latitud: 37.887003 ° (with "abrir" button)
 - Longitud: -1.354765 ° (with "mapa" button)
 - Altura: 10 m
- Parámetros Radioeléctricos:**
 - Frecuencia: 900 MHz (dropdown menu)
 - Factor K: 1.33
- MDT:**
 - Ruta ...: C:\RadioEarth\mdt_ascii\mdt_210.txt (with "Explorar" button)
- Calcular:** (button)

Figura 28 Menú *Calcular Perfil* con parámetros del primer perfil

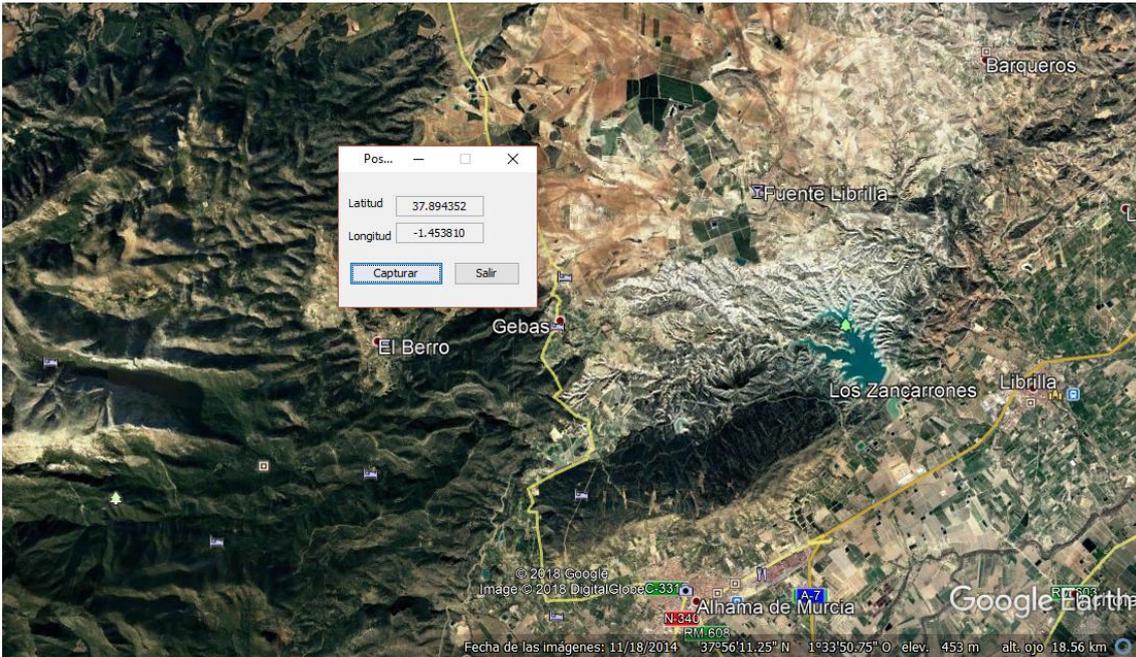


Figura 29 Panel de capturar posición

La frecuencia de transmisión a la que se han realizado los cálculos es 900MHz, y el *factor k* escogido es 1,33. Por último, se ha seleccionado un mapa digital del terreno de la Región de Murcia, el cual tiene una resolución de 210. Pulsando el botón calcular se obtienen los siguientes resultados:

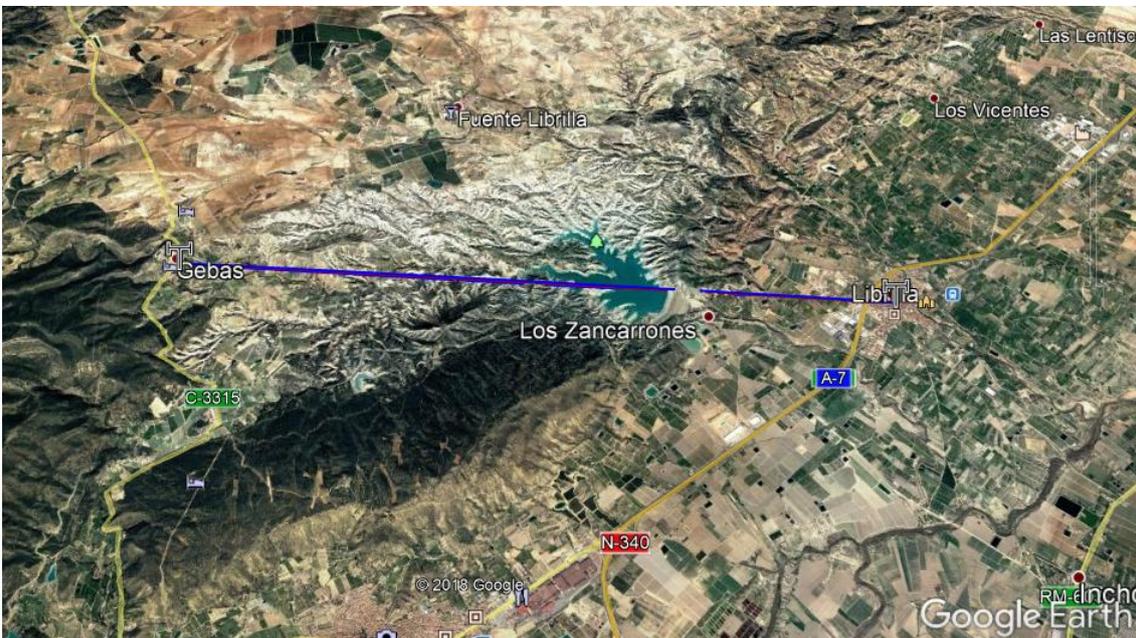


Figura 30 Perfil 1 representado en Google Earth

En la figura anterior se observa en rojo el rayo directo trazado entre transmisor y receptor y en azul las líneas que definen el primer elipsoide de Fresnel.

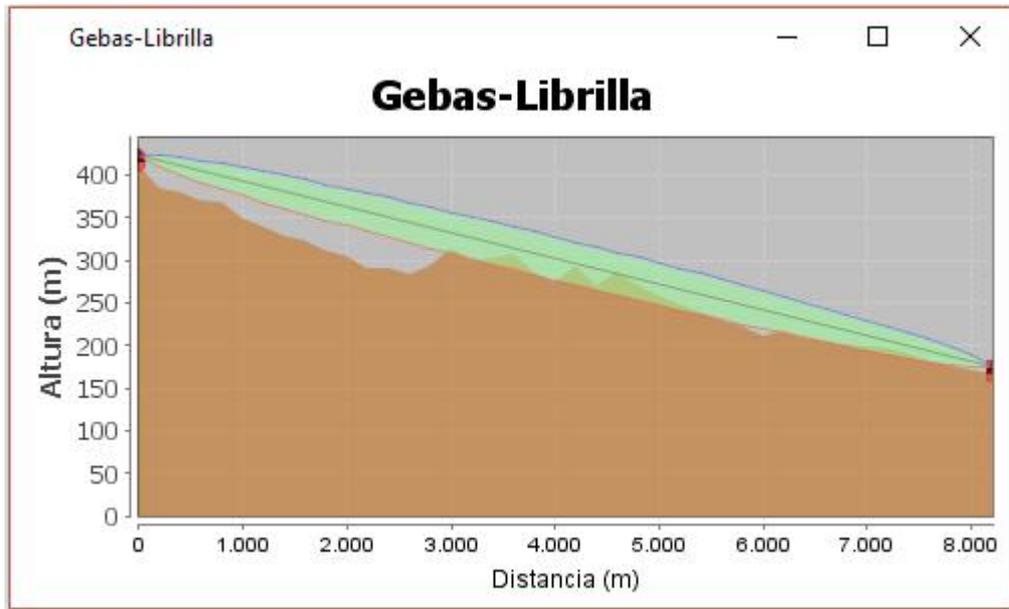


Figura 31 Perfil Gebas-Librilla

Con la representación del perfil en dos dimensiones mostrada en la figura anterior se puede ver de una forma más detallada el resultado obtenido. En esta gráfica se han representado las alturas del terreno que interceptan el perfil, la línea del rayo directo entre transmisor y receptor, y la primera zona de Fresnel.

Vemos como diferentes obstáculos interceden en la primera zona de Fresnel, cosa que no se podía apreciar con la primera representación del perfil. Este suceso generará pérdidas por difracción.

A la vista de los resultados obtenidos, se podría intentar solucionar el problema encontrado de que no hay despejamiento suficiente. Para ello tenemos dos opciones, subir la frecuencia del radioenlace para que la zona de Fresnel se estreche y/o variar las alturas de los mástiles respecto al suelo en el emplazamiento del transmisor y/o emplazamiento del receptor.

En primer lugar, repetimos los cálculos aumentando la frecuencia a 2GHz y 5GHz y comprobamos si se ha solucionado el problema del despejamiento insuficiente.

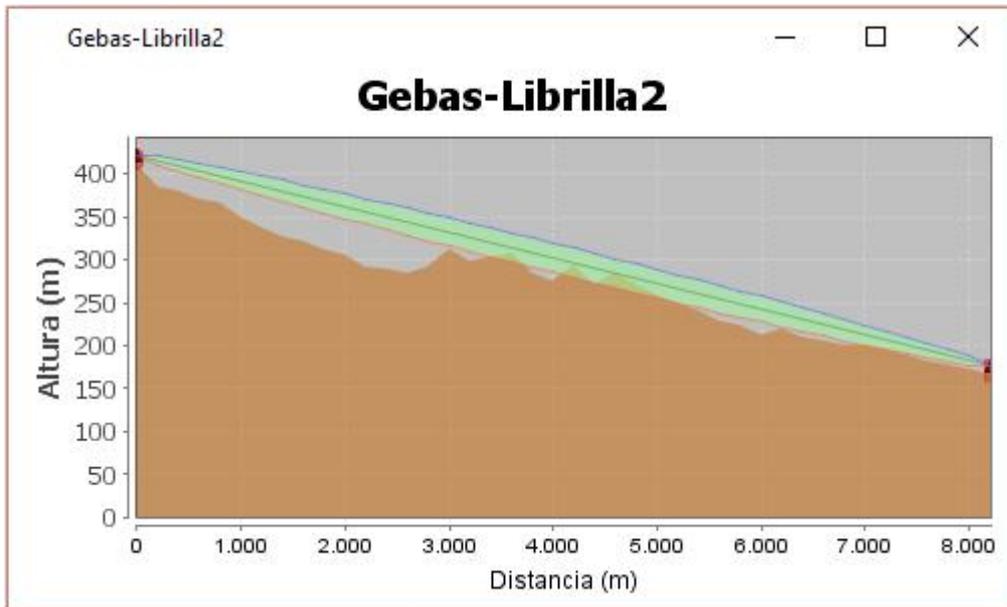


Figura 32 Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 2GHz

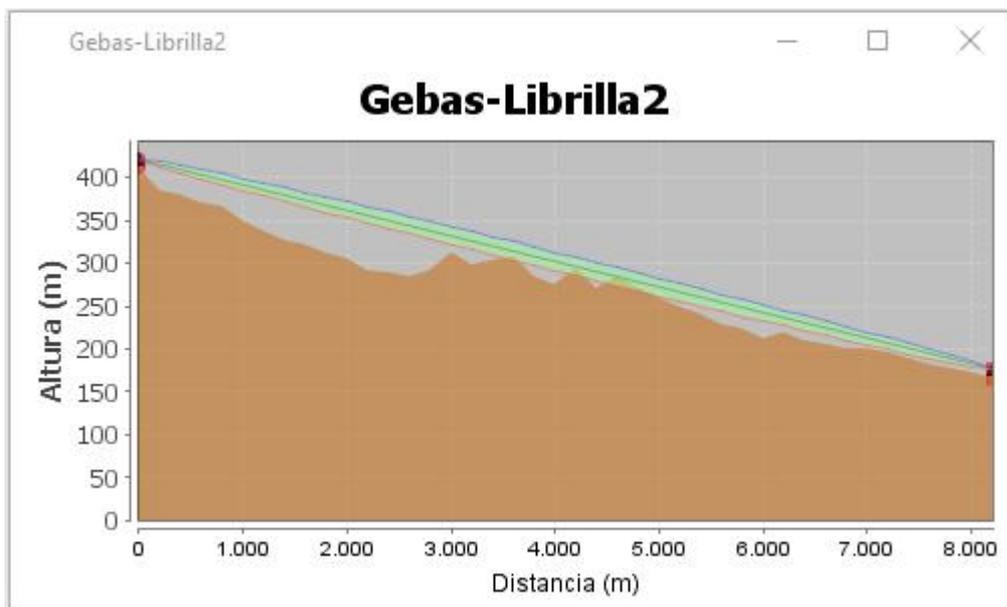


Figura 33 Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 5GHz

Como se puede apreciar, la primera zona de Fresnel se ha estrechado, varios obstáculos ya no la interceptan, pero sigue habiendo un volumen considerable de obstrucción. Por tanto, procedemos a aumentar las alturas de los emplazamientos.

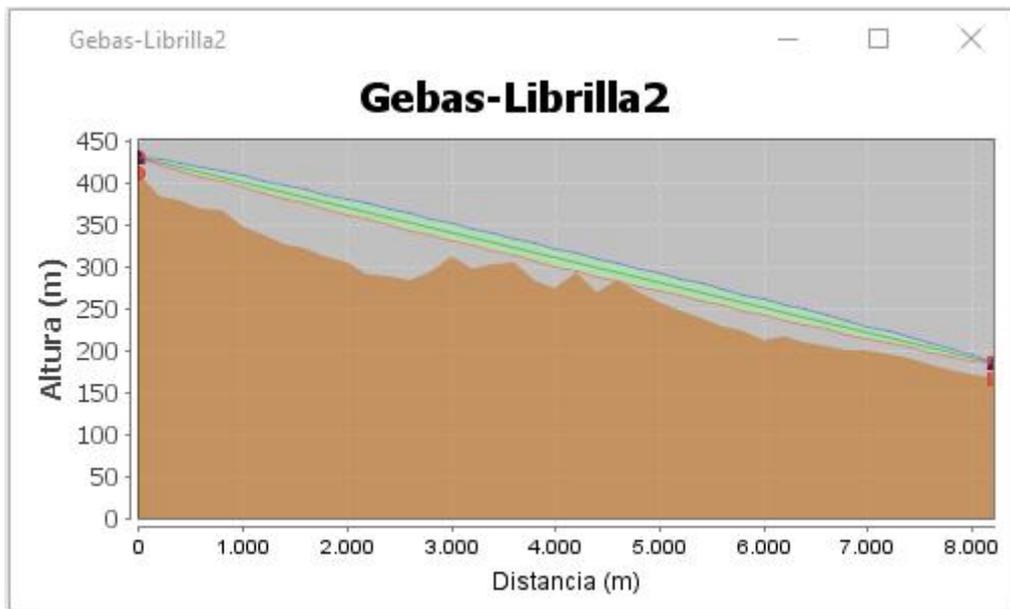


Figura 34 Perfil Gebas-Librilla con una frecuencia de 5GHz y alturas de las antenas de 20m

Finalmente hemos obtenido un radioenlace cuya zona de Fresnel está libre de obstrucciones, por lo tanto, tiene un despejamiento suficiente.

A continuación, calcularemos otro perfil en el cual no existe visión directa entre transmisor y receptor. Para asegurar esto, se han colocado a ambos lados de una montaña. De la misma forma que en el caso anterior, se han introducido los parámetros mostrados en la Figura 35.

Calculador Perfil

Nombre
Sangonera-Corvera

Origen
Latitud 37.929285 ° abrir
Longitud -1.205534 ° mapa
Altura 10 m

Destino
Latitud 37.831347 ° abrir
Longitud -1.159135 ° mapa
Altura 10 m

Parámetros Radioeléctricos
Frecuencia 900 MHz
Factor K 1.33

MDT
Ruta ... C:\RadioEarth\mdt_ascii\mdt_210.txt Explorar

Calcular

Figura 35 Menú *Calcular Perfil* con parámetros del segundo perfil

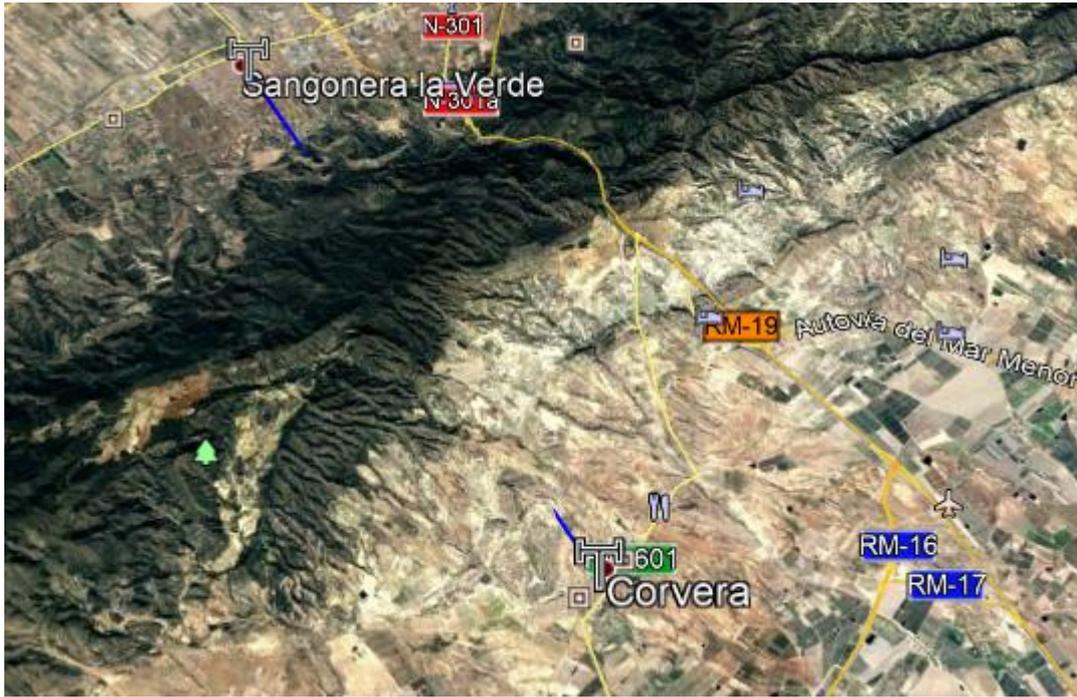


Figura 36 Perfil 2 representado en Google Earth

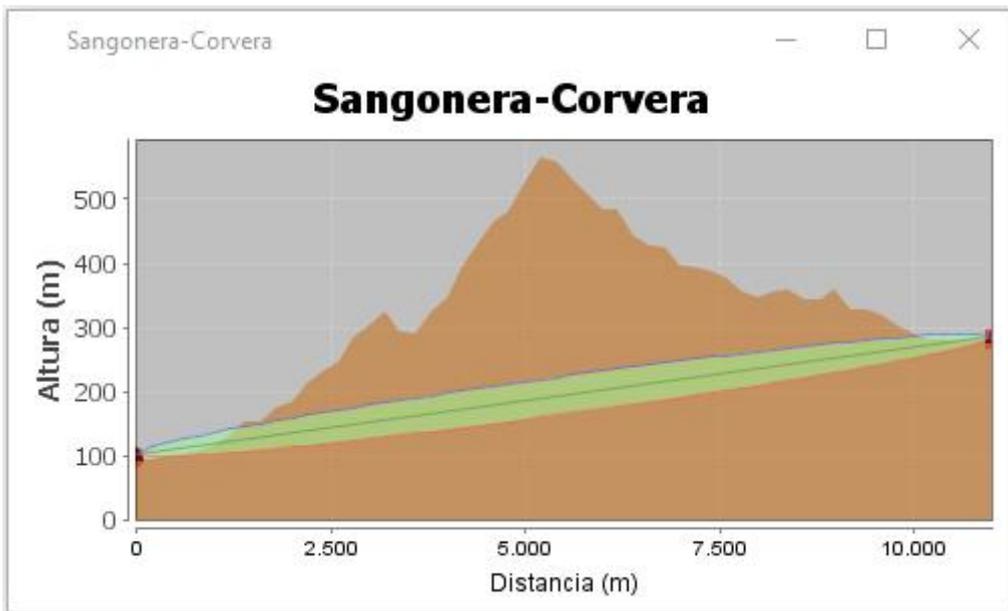


Figura 37 Perfil Sangonera-Corvera

Una vez obtenidas ambas representaciones, se puede observar que la montaña intercepta completamente el rayo directo, es decir, al receptor no le llegará nada de potencia. Este resultado muestra que para enlazar Sangonera con Corvera sería necesario un tercer emplazamiento que tuviese despejamiento de la primera zona de Fresnel tanto con Sangonera como con Corvera.

Finalmente repetimos el procedimiento para calcular un tercer radioenlace, en el cual sí se espera que exista visión directa entre transmisor y receptor.

The image shows a software dialog box titled "Calcular Perfil". It contains several sections for data entry:

- Nombre:** A text field containing "M-Mazarron".
- Origen:** A section with three input fields: "Latitud" (37.634587 °), "Longitud" (-1.291726 °), and "Altura" (20 m). There are "abrir" and "mapa" buttons next to the latitude and longitude fields.
- Destino:** A section with three input fields: "Latitud" (37.598338 °), "Longitud" (-1.310213 °), and "Altura" (20 m). There are "abrir" and "mapa" buttons next to the latitude and longitude fields.
- Parámetros Radioeléctricos:** A section with two input fields: "Frecuencia" (900 MHz) and "Factor K" (1.33).
- MDT:** A section with a file path input field containing "C:\RadioEarth\mdt_ascii\mdt_210.txt" and an "Explorar" button.

A "Calcular" button is located at the bottom center of the dialog box.

Figura 38 Menú *Calcular Perfil* con parámetros del tercer perfil



Figura 39 Perfil 3 representado en Google Earth

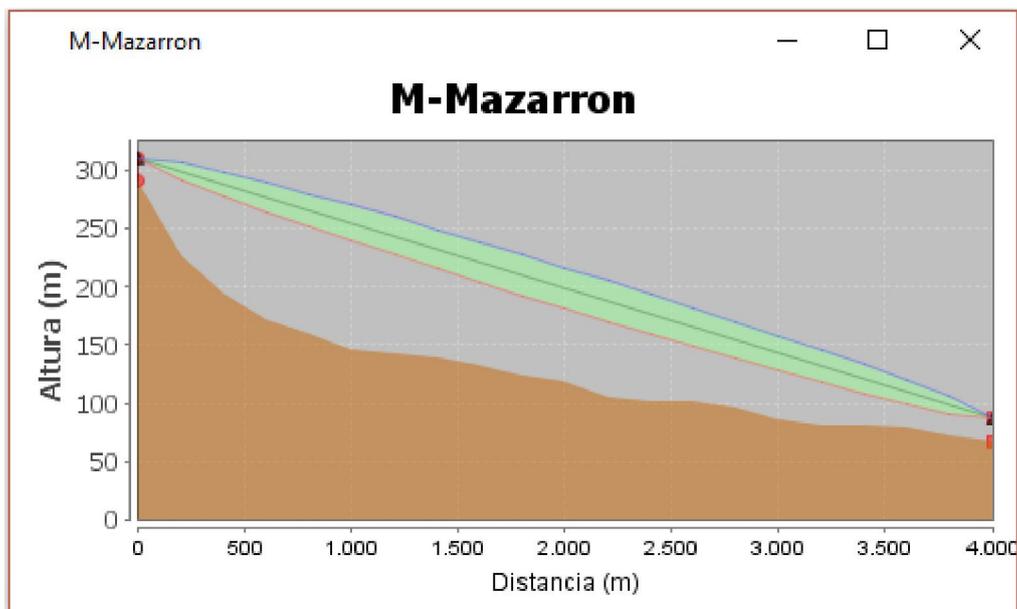


Figura 40 Perfil M-Mazarrón

En este último caso no se perderá nada de potencia por el fenómeno de la difracción. La visibilidad será del 100%. Además, en la Figura 39 se aprecian perfectamente el rayo directo en rojo y la primera zona de Fresnel en azul.

A la hora de realizar la planificación de un radioenlace, es necesario tener en cuenta que el entorno es cambiante, por lo tanto, se deben prever ciertos fenómenos como la construcción de nuevos edificios o el crecimiento de los árboles en áreas circundantes a las antenas transmisora y receptora, puesto que se debe intentar mantener despejada la primera zona de Fresnel. Si disponemos de modelos digitales con alta resolución y actualizados temporalmente, podemos detectar este tipo de situaciones con la nueva

funcionalidad implementada que no podría hacerse como estaba implementada previamente con la API de Google.

4.2 Comparación con los resultados obtenidos en Radio Mobile

Para contrastar los resultados obtenidos con la nueva funcionalidad desarrollada para la herramienta *RadioEarth* se ha utilizado el programa *Radio Mobile* versión 11.6.6 [17]. A continuación, se representan dos de los perfiles calculados en el apartado anterior.

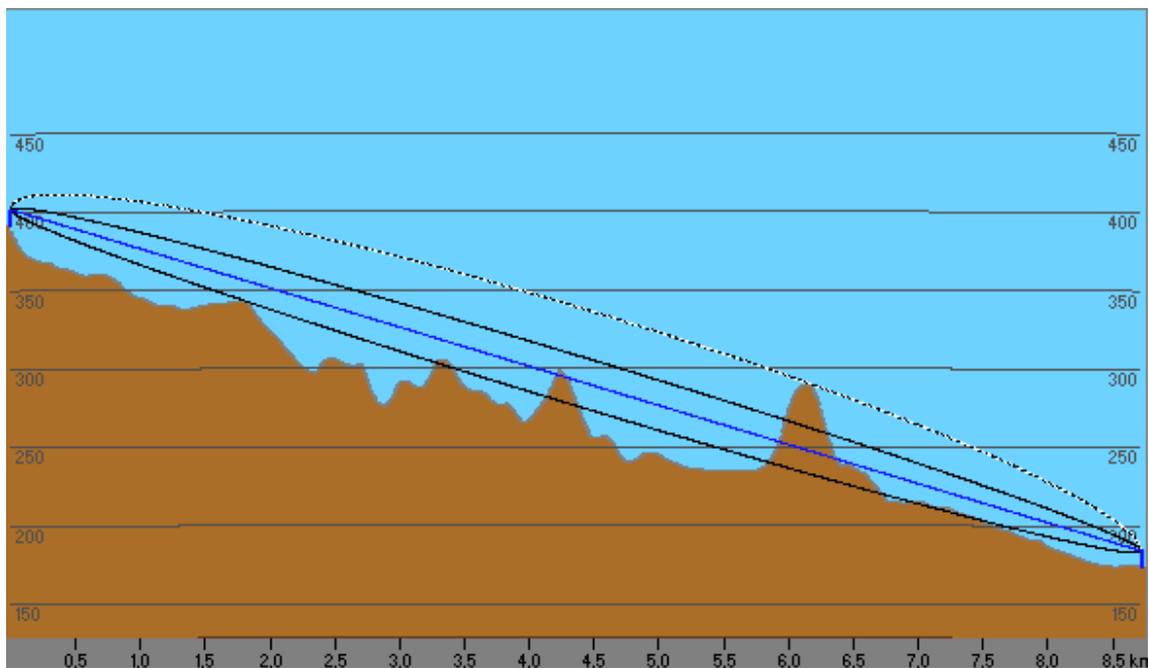


Figura 41 Perfil Gebas-Librilla calculado con Radio Mobile

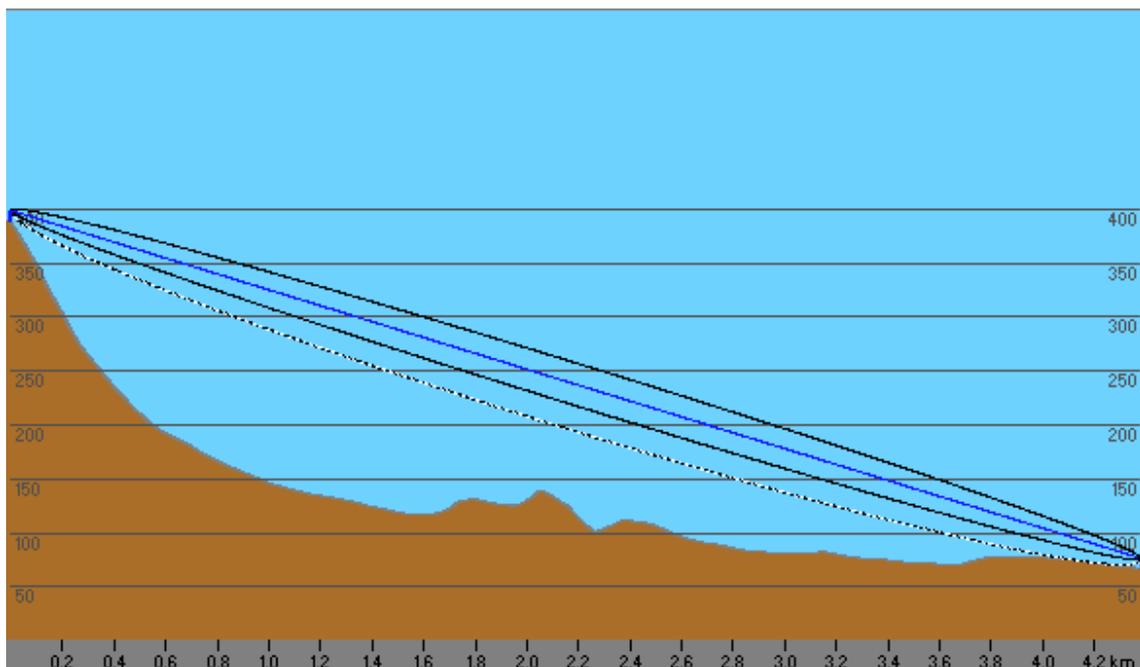


Figura 42 Perfil M-Mazarrón calculado con Radio Mobile

Podemos observar que estos resultados son muy similares a los obtenidos en el apartado anterior. Las diferencias observables más notables son debidas a la resolución de los modelos digitales del terreno utilizados en cada caso. En el caso de *RadioEarth*, el MDT utilizado tiene una resolución de 210, mientras que en el caso de *Radio Mobile* el mapa descargado tiene una resolución diferente.

Con el fin de observar la influencia de la resolución en los resultados, hemos repetido los cálculos de los radioenlaces en *RadioEarth* para un modelo digital del terreno con una resolución de 30 metros, (ver figuras 43 y 44).

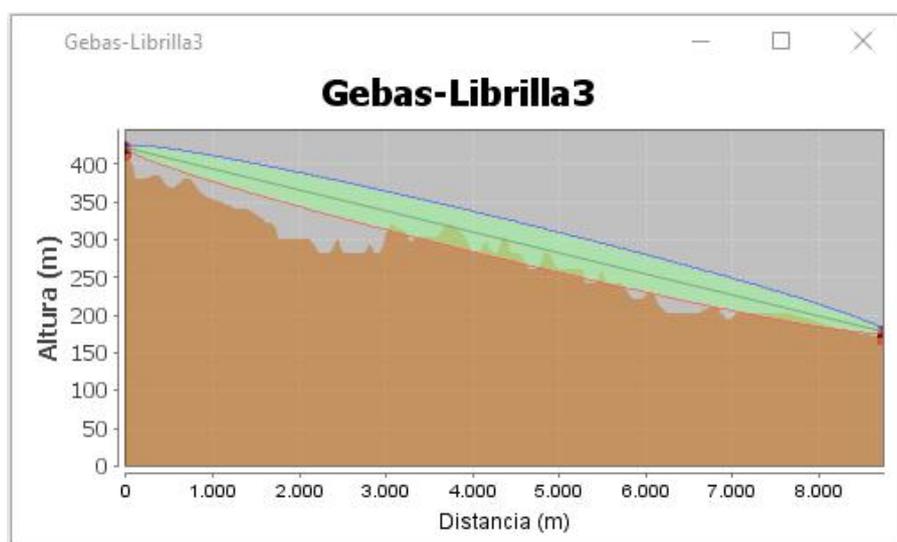


Figura 43 Perfil Gebas-Librilla con un MDT de resolución 30

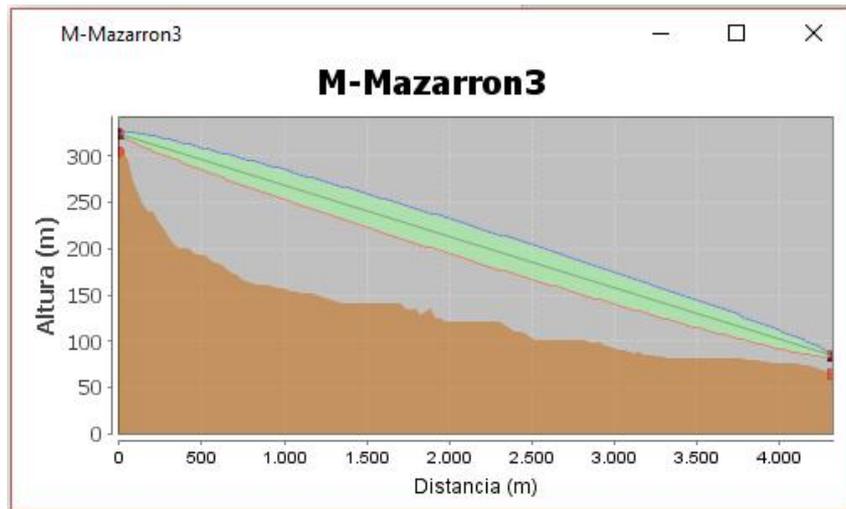


Figura 44 Perfil M-Mazarrón con un MDT de resolución 30

Al disminuir la resolución, aumenta el número de puntos que se van a tomar, y, por lo tanto, la representación del perfil del terreno es más detallada. Visualmente pierde continuidad y aparecen cotas con alturas más dispares. Sin embargo, esta medida es más precisa ya que los puntos interpolados necesarios para calcular las cotas de cada celda de 30 metros de resolución están más próximos entre sí que en el caso de resolución de 210 metros.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y futuras líneas

5.1 Conclusiones

En este proyecto se ha implementado una funcionalidad para el cálculo de perfiles radioeléctricos entre un transmisor y un receptor a partir de un modelo digital del terreno (MDT) cuya resolución la decide el usuario. La ventaja es que, si el usuario dispone de MDTs de alta resolución y actualizados, la funcionalidad implementada permite detectar situaciones de obstrucción de la primera zona de Fresnel debida, por ejemplo, a edificios. Por tanto, la nueva funcionalidad, permite la planificación de radioenlaces en cualquier entorno de propagación: rural, suburbano y urbano, lo que supone una mejora respecto al cálculo de perfiles que estaba implementado previamente. El único inconveniente es que el usuario debe adquirir estos MDTs de alta resolución, lo que supone un coste adicional.

Los resultados obtenidos muestran el potencial de la funcionalidad implementada para el cálculo de perfiles radioeléctricos, ayudando al usuario a decidir si modifica las alturas de los emplazamientos y/o la frecuencia de los equipos para que haya despejamiento suficiente de la primera zona de Fresnel o es necesario enlazar dos emplazamientos vía otros emplazamientos para que el radioenlace sea viable.

En este proyecto también se ha puesto de manifiesto la necesidad recompilar las librerías y buscar otros motores de representación geográfica para *RadioEarth* debido al cierre de las API's de *Google* (como la de *Google Earth*) para el desarrollo de aplicaciones.

5.2 Futuras líneas

Debido a la versatilidad que proporciona *RadioEarth* para incorporar nuevas funcionalidades, es una herramienta que puede estar en constante desarrollo.

En este proyecto se ha utilizado un MDT que se puede utilizar en entorno rural. Como se ha comentado previamente, se podrían realizar cálculos con MDTs con más resolución, que incorporasen, por ejemplo, los edificios en entorno urbano. Para realizar los cálculos de forma eficiente desde el punto de vista computacional habría que modificar los programas desarrollados para que generasen automáticamente un fichero *MDT* dados unos ciertos límites geográficos (delimitados por los emplazamientos) a partir de un *MDT* más amplio (el de una ciudad, por ejemplo), lo que simplificaría en gran grado los cálculos a realizar.

En cuanto a todo lo relacionado con la API de Google Earth, después de que Google decidiera deshabilitar algunas de sus API's, otra opción podría ser plantearse usar otros motores de representación gráfica, como Cesium, del que ya se ha hablado en el *Capítulo 2*.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MATLAB Compiler
<http://www.mathworks.com/products/compiler/mcr/index.html>
- [2] Juan Llacer, L., Molina García-Pardo, J.M., Rodríguez Rodríguez, J.V., y García Pardo, C. (2009). RadioEarth: herramienta de cálculo de cobertura radioeléctrica para Google Earth.
- [3] Juan Llacer, L., Molina García-Pardo, J.M., Rodríguez Rodríguez, J.V., Pascual García, J., y Martínez-Inglés, M. (2018). RadioEarth: An educational software tool based on Google Earth for radioelectric coverage analysis. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 26(6), 2141-2156.
- [4] Navarro Fuentes, F.A. (2009). *Desarrollo de una Funcionalidad de Cálculo de Mapas de Visibilidad Radioeléctrica para la Aplicación RadioEarth* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- [5] Hernando Rábanos, J.M., (2013), *Transmisión por Radio*, Madrid, España, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, Séptima edición.
- [6] Página oficial de *Google Earth*
https://www.google.es/intl/es_es/earth/
- [7] Yu, L. y Gong, P. (2012). Google Earth as a virtual globe tool for Earth science applications at the global scale: progress and perspectives. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33(12), 3966-3986.
- [8] Liang, J., Gong, J. y Li, W. (2018). Applications and impacts of Google Earth: A decadal review (2006–2016), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 146, 91-107.

- [9] Keyhole Markup Language
https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut?hl=es-419
- [10] Pérez Navarro, A., Botella Plana, A., Muñoz Bolla, A., Olivella González, R., Olmedillas Hernández, C. y Rodríguez Lloret, J., (2011), *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*, Editorial UOC, Primera edición.
- [11] Fernández-Coppel, I.A., *Localizaciones Geográficas. Las Coordenadas Geográficas y la Proyección UTM. (Universal Transversa Mercator)*
<http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-geograficas-utmdatatum.pdf>
- [12] Lars H. Rohwedder, *Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator*
https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas_universal_transversal_de_Mercator
- [13] Recommendation ITU-R P.526–14 (01/2018) Propagation by diffraction.
 Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-14-201801-I!!PDF-E.pdf
- [14] ITU-R P. 1546 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz. 2013. Available at:
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1546-5-201309-I!!PDF-E.pdf
- [15] U.S. Geological Survey
<https://www.usgs.gov/>
- [16] MATLAB API for Java
<https://es.mathworks.com/help/matlab/matlab-engine-api-for-java.html>
- [17] Radio Mobile
<http://www.ve2dbe.com/download/download.html>