

**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

**GRADO EN SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN**

Trabajo Fin de Grado

**Desarrollo de una herramienta de simulación  
de la propagación y localización mediante  
métodos empíricos usando OpenStreetMap**

Autor: Alejandro Gabriel Marrero Hermida

Director: Abdelhamid Tayebi Tayebi

**TRIBUNAL:**

**Presidente: Francisco Sáez de Adana Herrero**

**Vocal 1º: Óscar Gutiérrez Blanco**

**Vocal 2º: Abdelhamid Tayebi Tayebi**

**FECHA: .....**



*A mi familia y en especial a mis padres, sin ellos este sueño no habría sido posible.*

*A Rocío por siempre estar ahí, por su confianza y por ser siempre la motivación que necesitaba.*



# Índice

1	RESUMEN.....	1
1.1	Resumen.....	1
1.2	Abstract.....	2
1.3	Palabras clave .....	3
1.4	Resumen extendido.....	3
2	MEMORIA.....	5
2.1	Introducción .....	5
2.1.1	Objetivos.....	5
2.1.2	Antecedentes.....	5
2.2	Estado del arte.....	6
2.2.1	Estudio Software Cover Map 3.....	6
2.2.1.1	Módulos Cover Map 3 .....	6
2.2.2	OpenStreetMap .....	7
2.2.3	Tecnologías y librerías usadas .....	8
2.2.3.1	HTML + CSS3 + JavaScript .....	8
2.2.3.2	Leaflet .....	9
2.2.3.3	Nominatim .....	10
2.2.3.4	JSON .....	10
2.2.3.5	Diagramas UML .....	10
2.2.3.6	Bootstrap .....	11
2.3	Análisis de la interfaz .....	11
2.3.1	Cobertura .....	11
2.3.2	Punto a punto .....	13
2.3.3	Trayectoria .....	14
2.3.4	Modo distancia.....	15
2.3.5	Altura .....	16
2.3.6	Trayectoria ruta.....	18
2.3.7	Casos de uso comunes .....	19
2.3.7.1	Borrar .....	20
2.3.7.2	Guardar.....	20
2.3.7.3	Cargar.....	21
2.3.7.4	Búsqueda por coordenadas.....	22
2.3.7.5	Búsqueda por ubicación .....	23
2.3.7.6	Búsqueda por localidad .....	23

2.4	Desarrollo e implementación .....	24
2.4.1	Diseño funcional .....	24
2.4.1.1	Solicitudes MapQuest .....	25
2.4.1.2	Control de errores solicitudes MapQuest .....	26
2.4.2	Diseño de la interfaz .....	26
2.4.2.1	Diseño ventana principal.....	26
2.4.2.2	Diseño paneles .....	29
2.4.2.3	Cobertura.....	31
2.4.2.4	Punto a punto .....	33
2.4.2.5	Trayectoria .....	34
2.4.2.6	Modo distancia.....	37
2.4.2.7	Altura .....	38
2.4.2.8	Trayectoria ruta .....	39
2.4.3	Algoritmos cálculo cobertura.....	41
2.4.4	Modelo de datos.....	41
2.4.5	Generador Json Modo Trayectoria Ruta.....	42
2.4.5.1	Interfaz .....	43
2.4.5.2	Funcionamiento aplicación complementaria .....	45
2.5	Conclusiones y posibles líneas de futuro .....	47
2.5.1	Conclusiones.....	47
2.5.2	Posibles líneas de futuro .....	47
3	PLIEGO DE CONDICIONES .....	49
3.1	Condiciones generales .....	49
3.2	Condiciones de materiales y equipos .....	49
3.3	Condiciones de ejecución .....	49
4	PRESUPUESTO .....	51
4.1	Coste de hardware y materiales .....	51
4.2	Coste de software .....	51
4.3	Coste de recursos humanos.....	51
4.4	Coste total del proyecto .....	52
5	MANUAL DE USUARIO .....	53
5.1	Página Principal .....	53
5.1.1	Menú .....	53
5.1.2	Configuración .....	53
5.1.3	Cargar archivos .....	54

5.1.4	Búsquedas .....	55
5.1.4.1	Nombre.....	55
5.1.4.2	Coordenadas.....	56
5.1.4.3	Localización .....	56
5.1.5	Panel de información .....	57
5.1.6	Controles e Información .....	57
5.1.6.1	Zoom .....	57
5.1.6.2	Pantalla completa .....	57
5.1.6.3	Coordenadas.....	58
5.1.6.4	Licencias .....	58
5.2	Cobertura .....	58
5.3	Punto A Punto.....	59
5.4	Trayectoria .....	60
5.5	Modo Distancia.....	61
5.6	Altura .....	62
5.7	Trayectoria Ruta .....	62
6	BIBLIOGRAFÍA.....	64

## Índice Ilustraciones

Ilustración 1	Penetración de smartphones en países desarrollados [2] .....	1
Ilustración 2	Penetration of smartphones in developed countries [2] .....	2
Ilustración 3	Lenguajes principales de la aplicación .....	8
Ilustración 4	Caso de uso Cobertura .....	11
Ilustración 5	Caso de uso Punto a Punto.....	13
Ilustración 6	Caso de uso Modo Trayectoria .....	14
Ilustración 7	Caso de uso Modo Distancia.....	15
Ilustración 8	Caso de uso Modo Altura .....	16
Ilustración 9	Caso de uso Trayectoria Ruta .....	18
Ilustración 10	Casos de uso comunes .....	19
Ilustración 11	Distribución funcional de los JavaScript y HTML .....	24
Ilustración 12	Pantalla principal en ordenador de escritorio.....	27
Ilustración 13	Pantalla principal Tablet .....	27
Ilustración 14	Pantalla principal para móviles .....	28
Ilustración 15	Vista menú en los móviles .....	29
Ilustración 16	Panel configuración .....	29
Ilustración 17	Panel carga .....	30
Ilustración 18	Panel información .....	30
Ilustración 19	Resultados Modo Cobertura con cuadrados .....	31
Ilustración 20	Resultados Modo Cobertura con círculos .....	31
Ilustración 21	Leyenda Modo Cobertura .....	32
Ilustración 22	Información punto Modo Cobertura .....	32
Ilustración 23	Modo Punto a Punto resultados .....	33
Ilustración 24	Iconos puntos Modo Punto a Punto .....	33
Ilustración 25	Información punto Modo Punto a Punto.....	34
Ilustración 26	Modo Trayectoria resultados .....	35
Ilustración 27	Información punto Modo Trayectoria.....	36
Ilustración 28	Modo Distancia resultados.....	37
Ilustración 29	Información punto Modo Distancia .....	37
Ilustración 30	Modo Altura resultados.....	38
Ilustración 31	Información punto Modo Altura .....	38
Ilustración 32	Modo Trayectoria Resultados .....	39
Ilustración 33	Información punto Modo Trayectoria Ruta .....	40
Ilustración 34	Aplicación complementaria para pantallas de gran tamaño.....	43

Ilustración 35	Aplicación complementaria para pantallas móviles .....	44
Ilustración 36	Paso 1 aplicación complementaria.....	45
Ilustración 37	Paso 2 aplicación complementaria.....	46
Ilustración 38	Paso 3 aplicación complementaria.....	46
Ilustración 39	Resultado aplicación complementaria .....	47
Ilustración 40	Requisitos mínimos [17] .....	49
Ilustración 41	Menú principal .....	53
Ilustración 42	Configuración .....	54
Ilustración 43	Carga de archivos.....	54
Ilustración 44	Carga errónea .....	55
Ilustración 45	Carga correcta .....	55
Ilustración 46	Búsqueda por nombre .....	55
Ilustración 47	Búsqueda por coordenadas .....	56
Ilustración 48	Búsqueda por localización .....	56
Ilustración 49	Panel de información .....	57
Ilustración 50	Información de coordenadas .....	58
Ilustración 51	Cobertura.....	58
Ilustración 52	Detalle punto.....	59
Ilustración 53	Información elevación terreno .....	59
Ilustración 54	Punto a punto .....	59
Ilustración 55	Trayectoria .....	60
Ilustración 56	Detalle punto trayectoria .....	60
Ilustración 57	Distancia .....	61
Ilustración 58	Altura .....	62
Ilustración 59	Modos trayectoria ruta .....	62
Ilustración 60	Trayectoria ruta .....	63

## Índice Tablas

Tabla 1	Caso de uso Cobertura.....	12
Tabla 2	Caso de uso Punto a Punto .....	14
Tabla 3	Caso de uso Modo Trayectoria.....	15
Tabla 4	Caso de uso Modo Distancia .....	16
Tabla 5	Caso de uso Modo Altura.....	17
Tabla 6	Caso de uso Trayectoria Ruta.....	19
Tabla 7	Borrar / limpiar mapa .....	20
Tabla 8	Guardar resultados.....	21
Tabla 9	Cargar resultados.....	21
Tabla 10	Búsqueda por coordenadas .....	22
Tabla 11	Búsqueda por ubicación .....	23
Tabla 12	Búsqueda por localidad.....	24
Tabla 13	Información Puntos Modo Cobertura .....	32
Tabla 14	Información Puntos Modo Punto a Punto .....	34
Tabla 15	Código de colores Trayectoria .....	35
Tabla 16	Información Punto Modo Trayectoria .....	36
Tabla 17	Información Puntos Modo Distancia .....	38
Tabla 18	Información Puntos Modo Altura .....	39
Tabla 19	Código de colores puntos Trayectoria Ruta.....	40
Tabla 20	Información Puntos Modo Trayectoria Ruta .....	40
Tabla 21	Datos de identificación .....	42
Tabla 22	Datos generales .....	42
Tabla 23	Coste de hardware y materiales .....	51
Tabla 24	Coste de Software .....	51
Tabla 25	Coste Recursos Humanos .....	52
Tabla 26	Coste total .....	52

# 1 RESUMEN

## 1.1 Resumen

Hoy en día podemos decir que para la mayor parte de la población el teléfono móvil se ha convertido en una pieza fundamental en sus vidas. En España según datos del INE (Instituto nacional de estadística) estaríamos hablando de que un 96% de los hogares cuentan con teléfono móvil [1]. Si hablamos de los smartphones (teléfonos inteligentes) España también cuenta con cifras muy elevadas, situándose como el cuarto de los países desarrollados en penetración de smartphones [2].

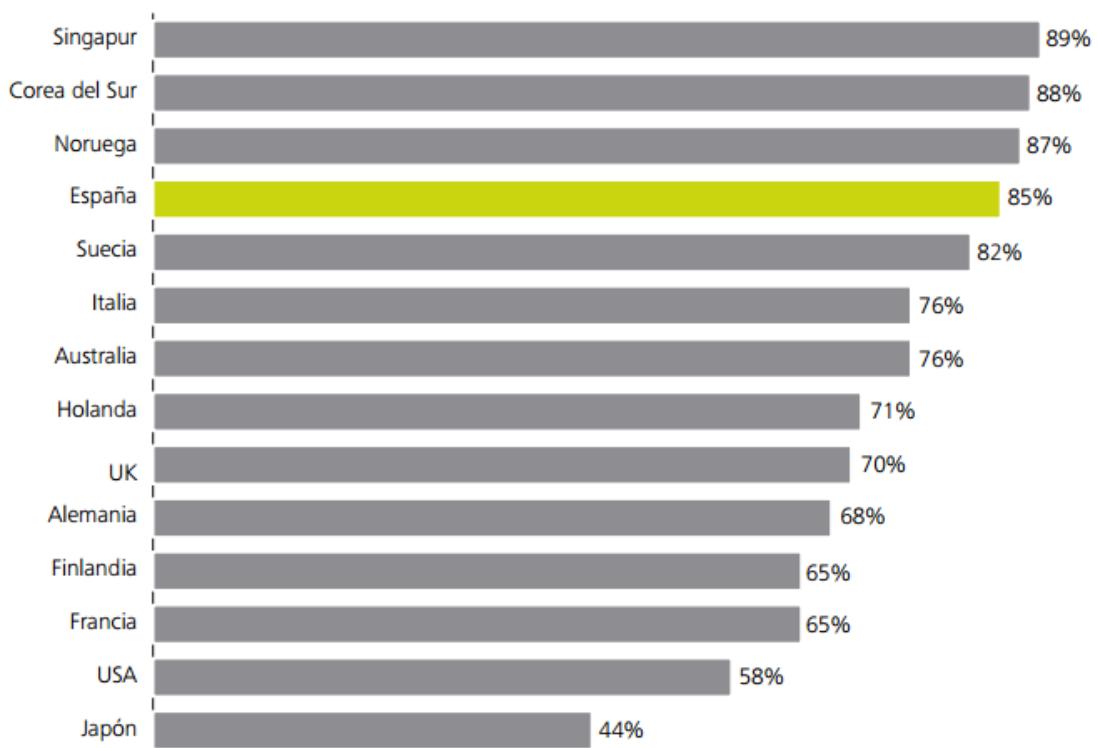


Ilustración 1 Penetración de smartphones en países desarrollados [2]

Estos datos revelan la importancia de tener software capaz de calcular la cobertura que se puede obtener de una antena de radiofrecuencia en una zona en concreto. Por lo tanto el objetivo del proyecto de fin de grado será el desarrollo de una aplicación amigable e intuitiva capaz de obtener la propagación en entornos exteriores de forma rápida y precisa. La información se obtendrá del sistema OpenStreetMap.

La programación de la herramienta se llevará a cabo usando las tecnologías HTML5, CSS3 y Javascript enfocados para realizar una aplicación web. El framework Bootstrap (basado en las tecnologías anteriores) se utilizará para el desarrollo de la GUI y conseguir una aplicación compatible con todos los tamaños de pantalla. La librería JavaScript Leaflet de código abierto se usará para crear los mapas interactivos.

Dentro del objetivo general se encuentra el desarrollo de la GUI, la implementación de funcionalidades y por último el apoyo en los contenidos vistos en las asignaturas de Ingeniería del Software y Gestión de Proyectos para mejorar la calidad durante el desarrollo.

## 1.2 Abstract

Today we can say that for most people the mobile phone has become a fundamental part of their lives. In Spain according to the INE (National Statistics Institute) would be talking about that 96% of households have a mobile phone [1]. If we talk about smartphones (smartphones) Spain also has very high figures, the fourth largest developed country in smartphone penetration [2].

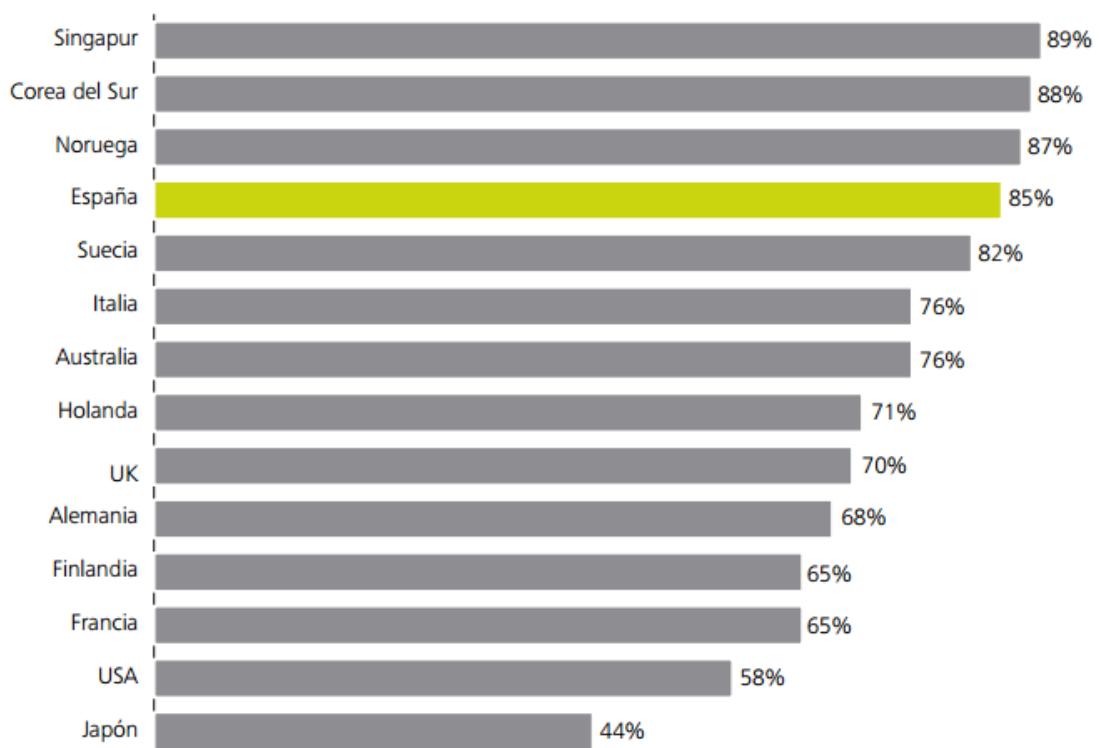


Ilustración 2 Penetration of smartphones in developed countries [2]

These data reveal the importance of software able to calculate the coverage that can be obtained from a radio frequency antenna in a particular area. Therefore the objective of the final degree project will be to develop a friendly and intuitive application able to get the spread in outdoor environments quickly and precisely. The information is obtained from the OpenStreetMap system.

The programming tool will be conducted using HTML5, CSS3 and Javascript technologies focused for a web application. The Bootstrap framework (based on previous technologies) will be used to develop and get a GUI application that supports all screen sizes. The open source JavaScript library Leaflet will be used to create interactive maps.

Within the overall objective is the development of the GUI, the implementation of features and finally support those seen in subjects on Software Engineering and Project Management to improve the quality during development content.

### 1.3 Palabras clave

Propagación, Antena Radiofrecuencia, Leaflet, OpenStreetMap, Javascript, CSS3, HTML5.

### 1.4 Resumen extendido

Hoy en día todo el mundo dispone de un terminal móvil, debido a su bajo coste y a su continua evolución por lo que el número de antenas que proporcionan cobertura a dichos dispositivos, han incrementado su número. Estas antenas también se encuentran en una continua evolución tecnológica, con el fin de proporcionar una mejora de servicio y un incremento en la capacidad del mismo.

A la hora de elegir un lugar donde posicionar una antena, se han de tener en cuenta numerosos factores, desde una estimación aproximada de los clientes que se conectarán a esta, hasta los desniveles del terreno, la altura de los edificios, etc. Para ello es necesario un algoritmo y un sistema de visualización gráfica de la cobertura con el cual ahorraremos un coste de dicho estudio.

En este proyecto para hallar la pérdida de cobertura utilizaremos el método de predicción de Thomas E.Eibert y Peter Kuhlmann [3], se eligió este método debido a que presenta buenos resultados para zonas donde no se dispone de la densidad de la población.

El objetivo principal de este proyecto fin de carrera, como se comenta en el resumen, será el desarrollo de una aplicación amigable e intuitiva capaz de obtener la propagación en entornos exteriores de forma rápida y precisa. Se buscará que dicha aplicación esté perfectamente adaptada a dispositivos móviles. Lo primero será identificar los módulos y usos con los que contará la aplicación, para ello contaremos con la aplicación CoverMap [4] de la cual podremos obtener de forma rápida las principales funcionalidades con las que contará nuestra aplicación.

CoverMap está realizada, utilizando principalmente servicios de Google Maps, en nuestro caso se ha decidido utilizar los servicios de OpenStreetMap, ya que cuenta con una Licencia Abierta de Bases de Datos [5] la cual permite a los usuarios compartir y modificar el contenido libremente, siempre y cuando obedezcan unas directrices establecidas por el autor de la licencia.

Las ventajas de usar OpenStreetMap las analizaremos en esta memoria, pero ha modo resumen, podemos comentar que entre sus principales ventajas encontramos la ausencia de restricciones a la hora de imprimir los mapas o realizar capturas de estos, a la hora de redistribuirlos, o el hecho de permitir su uso comercial que favorece la creación de más y mejor software libre.

Para implementar estos los mapas de OpenStreetMap en nuestra aplicación haremos uso de la librería Leaflet, la cual nos permite trabajar con OpenStreetMap de forma rápida y eficiente, y es totalmente compatible con dispositivos móviles, por lo que los mapas creados con esta librería se pueden consultar desde cualquier dispositivo. Por otro lado cuenta con gran cantidad de plugins (complementos) los cuales serán muy útiles durante el desarrollo.

Como se comenta anteriormente, uno de los requisitos fundamentales de la aplicación es que esta se adapte a dispositivos móviles, para que este proceso sea fácil y cómodo utilizaremos el framework Bootstrap el cual nos facilitará el diseño de la aplicación y conseguiremos que no solo se adapte a móviles, sino a cualquier tipo de pantalla.

## 2 MEMORIA

### 2.1 Introducción

#### 2.1.1 Objetivos

Considerando las aportaciones previas al ámbito del proyecto de los trabajos realizados recientemente por otros autores, el efecto innovador del proyecto y sus aspectos más novedosos se podrían desglosar en los siguientes puntos:

- El sistema a desarrollar incluirá varios métodos empíricos para llevar a cabo el cálculo de la propagación en función del tipo de entorno que se deseé analizar.
- Se permitirá la opción de cálculo de la propagación y de cálculo de la posición conjuntamente.
- La parte gráfica se basará en el API de OpenStreetMap, HTML 5 y CSS3.
- Una vez que los resultados se obtengan, serán mostrados sobre la interfaz proporcionando una forma intuitiva de interpretar los resultados.
- La programación de la herramienta se llevará a cabo utilizando una librería JavaScript de código abierto para crear mapas interactivos llamada Leaflet. Algunas de sus ventajas son las siguientes: es sencilla y rápida de entender, es fácil de usar, dispone de características básicas, pero que funcionan a la perfección, proporciona soporte móvil, se basa en HTML 5 y CSS3, funciona tanto en navegadores web modernos como en antiguos, es ampliable con plugins, y está muy bien documentada.

#### 2.1.2 Antecedentes

El estudio de la propagación es una de las tareas en desarrollo más importantes en cualquier sistema de comunicación móvil. Como una alternativa a las caras y tediosas campañas de medida que se deben realizar para hacer un estudio de la propagación en un área concreta se usan varias herramientas software que llevan a cabo esta tarea. Por esta razón, en los últimos años se han desarrollado varias herramientas [6-10] basadas tanto en métodos deterministas como en métodos empíricos. Estas herramientas requieren de algún conocimiento del entorno para extraer la información que necesita el modelo de propagación implementado. A pesar de que la mayoría de las herramientas tienen una interfaz gráfica amigable para introducir los datos, normalmente el usuario debe obtener información del entorno para ser capaz de realizar esta tarea. Esta información se puede obtener desde varias fuentes como las instituciones gubernamentales, imágenes de satélites, mapas de planificación de ciudades, etc. Sin embargo, si el cálculo necesita llevarse a cabo en un área no desarrollada o urbanizada, obtener esta información no es fácil y requiere una inspección in situ que puede resultar cara e incluso peligrosa.

Por esta razón, para la realización del proyecto se ha optado por aprovechar las ventajas que proporcionan los proveedores de mapas, los cuales permiten obtener información geográfica fácilmente desde internet. La ventaja de estos sistemas es que

algunos de ellos proporcionan APIs que permiten desarrollar diferentes aplicaciones usando la información contenida en los mapas. El servidor de mapas elegido para llevar a cabo este proyecto ha sido OpenStreetMap.

## 2.2 Estado del arte

En este apartado hablaremos de la importancia de las herramientas software de simulación de la propagación y localización mediante métodos empíricos. También se comentará el funcionamiento de la herramienta CoverMap, detallando todos sus módulos, así como su entrada de datos y los resultados mostrados. Posteriormente se hará un análisis de las ventajas de utilizar OpenStreetMap frente a otros proveedores de mapas. Por último, hablaremos sobre las tecnologías, lenguajes y librerías empleadas.

### 2.2.1 Estudio Software Cover Map 3

CoverMap3 [4] permite ver la pérdida de cobertura de una antena, esta podrá ser colocada en un mapa global. La pérdida se muestra de distinta manera en función del modo seleccionado. Esta aplicación está desarrollada con Google, que cuenta con limitaciones de uso. El objetivo de este proyecto es estudiar las funcionalidades y migrarlas a OpenStreetMap totalmente gratuito.

Para el desarrollo de dicha aplicación y para poder obtener algunos datos necesarios como por ejemplo la altura, se utilizaron los siguientes servicios:

- Google Maps v3: Mapa sobre el cual trabajaremos y el que nos proporciona nuevas funciones, como por ejemplo la obtención de las elevaciones.
- Geonames: Nos permitirá obtener la elevación de un punto determinado.
- HeyWhatsthath: permite obtener las gráficas de relieve mostradas en los modos cobertura y punto a punto.
- Google chart: Cálculo de gráficas de forma dinámica y lo utiliza en el modo trayectoria para mostrar en una gráfica lineal las pérdidas de decibelios que se dan en cada punto.

La aplicación está implementada en JavaScript, utiliza un applet de Java para acceder a los ficheros del disco duro, HTML como lenguaje de marcado y CSS para la presentación de la página.

#### 2.2.1.1 Módulos Cover Map 3

Dicha aplicación permite ocho modos de cálculos [4]:

1. Modo cobertura: Realiza el cálculo automático del radio de cobertura a partir de una antena situada por el usuario en cualquier parte del mundo. Esta degradación de la cobertura será fácilmente apreciable por el usuario, ya que irá cambiando de color según se vaya degradando dicho servicio.
2. Modo Móvil: nos permitirá la visualización simultánea de todas las antenas que el usuario ha ido colocando por el mapa. Cuando pinchemos

en una determinada celda de cobertura, nos proporcionará los datos de la pérdida que se produce con respecto a esa antena.

3. Modo punto a punto: permite saber la pérdida de decibelios de un receptor respecto a un transmisor, está pérdida, será fácilmente detectable por el usuario ya que como resultado, se obtendrán unos rectángulos de color azul oscuro, para indicar los obstáculos entre el transmisor y el receptor, y unos rectángulos de color blanco, para indicar los puntos que no lo son.
4. Modo trayectoria: En este modo, se nos permitirá conocer la pérdida de decibelios que se da en una trayectoria. Al igual que sucedía en el modo cobertura, está pérdida, será fácilmente detectable por el usuario ya que a medida que se va incrementando, irá cambiando también de color.
5. Modo visual: permite ver de una manera visual, si una antena es visible desde otra.
6. Modo distancia: dicho modo, colocada una antena, permite al usuario realizar una trayectoria (con la pérdida producida en la misma con respecto a la antena) entre dos puntos que el usuario desee, la trayectoria que se trazará dependerá del modo que el usuario indique, esta podrá ser de forma directa, a pie o en vehículo, en esta última, se tendrá en cuenta las direcciones prohibidas, etc.
7. Altura: permite conocer la altura exacta que existe en un lugar determinado, tan solo haciendo clic con el botón izquierdo del ratón sobre el mapa.
8. Modo trayectoria ruta: En este modo, se nos permitirá conocer la pérdida de decibelios que se da en una ruta, elegida por el usuario, desde el emisor al receptor. Dicha ruta puede ser calculada de tres formas diferentes, directa, a pie o en vehículo. Al igual que sucedía en el modo cobertura y trayectoria, está pérdida, será fácilmente detectable por el usuario ya que a medida que se va incrementando, irá cambiando también de color.

Estos modos serán implementados en la nueva aplicación, conservando sólo la funcionalidad.

### 2.2.2 OpenStreetMap

OpenStreetMap es un mapa del mundo, libre y editable, hecho con contribuciones de usuarios, las cuales pueden llegar a un grado de detalle muy elevado. Las aportaciones pueden ser añadidas y reflejadas en los mapas rápidamente y cualquier persona puede mapear cualquier característica que le parezca importante (sendas, pubs, edificios, etc.). Todos estos datos son luego puestos a disposición de todos de manera libre. Las razones por las que se ha optado por este servidor de mapas son las siguientes:

1. Muchos proveedores de mapas permiten usar algunos de sus servicios de manera gratuita para usuarios personales, pero ponen excesivas restricciones a la manera en que se usan, como por ejemplo prohibir la impresión, las capturas de pantalla, la redistribución de los mapas, etc.
2. En general, sus servicios de los proveedores de mapas tradicionales sólo son gratuitos para usuarios sin ánimo de lucro, no así para empresas o

autónomos. El hecho de permitir su uso comercial es algo que favorecería la creación de más y mejor software libre.

3. Además, no permiten la modificación ni mejora de sus mapas. Sus APIs sólo permiten situar nuevos elementos sobre el mapa base, pero no corregir inexactitudes. Así, por ejemplo, muchos mapas comerciales mantienen datos de navegación para coches, pero en general no tienen los datos para ciclistas, peatones, barcos, etc. Además, el hecho de que OpenStreetMap permita la edición colaborativa a nivel mundial hace que la actualización sea mucho más rápida allí donde haya contribuidores interesados.
4. Otros proveedores de mapas no permiten el acceso a la base de datos subyacente en la que se almacenan los datos, tan sólo distribuyen teselas ya renderizadas. Eso impide usos nuevos y creativos de sus datos. OpenStreetMap, no sólo permite obtener el último renderizado como resultado del procesamiento de los datos, sino que también permite obtener los datos subyacentes.
5. Por último, OpenStreetMap integra en una única base de datos los datos que terceros han liberado, combinando en un único lugar y con un único formato datos de todo tipo y de todos los países del mundo: desde calles y carreteras, hasta edificios y parques, comercios, lugares naturales, rutas de transporte público, tendido eléctrico, y todo lo que uno pueda imaginar.
6. La licencia de uso de los mapas está incluida dentro de la licencia de Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 [11].

### 2.2.3 Tecnologías y librerías usadas

Las tecnologías usadas para este proyecto han sido pensadas para desarrollar una aplicación web, compatible con dispositivos móviles.

#### 2.2.3.1 HTML + CSS3 + JavaScript



Ilustración 3 Lenguajes principales de la aplicación

La aplicación se basa en la unión de estos tres lenguajes cada uno aportando una parte del proyecto bien diferenciada. HTML se utiliza para el generare el contenido, CSS para el diseño de dicho contenido y JavaScript para dar vida al contenido y convertirlo en una aplicación web interactiva.

HTML es un lenguaje marcado que se utiliza para la creación de páginas web, se ha convertido en un estándar. El lenguaje se basa en elementos con atributos y contenido que le dan forma al elemento.

CSS o Hoja de estilo en cascada lo utilizaremos para definir la presentación de nuestro código HTML, gran parte de estas hojas de estilos vendrán definidas por la librería Leaflet.

El lenguaje escogido para el desarrollo de la aplicación es JavaScript, ya que será una aplicación web ligera y queremos que se ejecute en todos los móviles modernos. “JavaScript (abreviado comúnmente "JS") es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico” [12]. Se ejecuta del lado del cliente por lo que los navegadores web tienen que estar preparados.

### 2.2.3.2 Leaflet

Leaflet es una librería de código abierto para JavaScript con la que conseguimos mapas interactivos y está 100% preparada para su uso en móviles. Tiene un peso aproximado de 33Kb lo que la hace una librería muy ligera [13]. Está preparada para su uso con los mapas OpenStreetMap que usaremos en la aplicación. Entre sus características destacamos [14]:

- Dispone de capas para el mapa:
  - Tile layers
  - Marcadores
  - Ventanas emergentes.
  - Capas vectoriales:
  - Líneas
  - Polígonos
  - Círculos
  - Rectángulos
  - Etc...
- Características visuales:
  - Animaciones para todas las capas y marcadores.
  - Zoom continuo en dispositivos móviles modernos.
  - Diseño agradable para marcadores, ventanas emergentes y otros controles del mapa.
- Personalización de características
  - Popups y controles puros en CSS3 para un fácil rediseño.
  - Sencilla interfaz de la aplicación de capas de mapas personalizados

Leaflet cuenta con gran cantidad de plugins que hacen más completa la experiencia. Algunos de los utilizados:

- Leaflet.MousePosition: Con este plugin conseguimos que cuando pasemos el ratón por el mapa podamos observar las coordenadas en que estamos situados.

- Leaflet.toolbar: Conseguimos crear barras de herramientas de forma fácil y flexible.
- Leaflet.fullscreen: Con este plugin añadimos un botón para entrar en modo pantalla completa, una opción muy interesante para ordenadores con pantallas pequeñas y móviles.
- Leaflet.GeometryUtil: Una colección de utilidades para geometrías.

#### 2.2.3.3 Nominatim

Nominatim es una herramienta para buscar datos en OpenStreetMap por nombre y dirección. En este proyecto la utilizaremos para realizar las búsquedas por nombre de ciudades.

#### 2.2.3.4 JSON

Json es un formato ligero para el intercambio de datos. “La simplicidad de JSON ha dado lugar a la generalización de su uso, especialmente como alternativa a XML en AJAX. Una de las supuestas ventajas de JSON sobre XML como formato de intercambio de datos en este contexto es que es mucho más sencillo escribir un analizador sintáctico (parser) de JSON. En JavaScript, un texto JSON se puede analizar fácilmente usando la función eval(), lo cual ha sido fundamental para que JSON haya sido aceptado por parte de la comunidad de desarrolladores AJAX, debido a la ubicuidad de JavaScript en casi cualquier navegador web” [15]. En la aplicación todos datos de salida o de entrada usarán este formato, por su simplicidad.

#### 2.2.3.5 Diagramas UML

Para el desarrollo de toda aplicación es fundamental utilizar diagramas e ilustraciones con los que se consigan comprender el funcionamiento del trabajo. Cuando hablamos de UML nos referimos a un conjunto de elementos de esquematización relacionados con distintas partes de un sistema de software. Estos elementos los utilizaremos para crear diagramas representando alguna parte del sistema. Los diagramas más relevantes son: [16]

- Diagrama de casos de uso (Donde encontramos actores y las situaciones que se producen cuando usan el sistema).
- Diagrama de clases (Clases y relaciones entre ellas).
- Diagrama de colaboración (Objetos y las relaciones entre ellos, con mayor importancia aquellos que intervienen en el intercambio de mensajes).
- Diagrama de estado (Estados, cambios de estado y eventos en un objeto).
- Diagrama de actividad (Actividades, así como los cambios de una a otra actividad junto con los eventos que ocurren en ciertas partes del sistema).
- Diagrama de componentes (Los componentes de mayor nivel de la programación).
- Diagrama de implementación (Las instancias de los componentes y sus relaciones).
- Diagrama de relaciones de entidad (Los datos y las relaciones y restricciones entre ellos).

#### 2.2.3.6 Bootstrap

Bootstrap es un framework de software libre enfocado en el diseño de páginas web, está basado en HTML y CSS3, pero también contiene extensiones JavaScript. Su principal ventaja y motivo de incorporación en este proyecto es que reduce drásticamente el tiempo en que se desarrolla la parte visual de la aplicación, ya que contiene gran cantidad componentes, como pueden ser botones, iconos, tablas, ventanas emergentes, etc. con los cuales es muy fácil interactuar. Por otro lado ofrece un diseño 100% compatible con móviles por lo que las páginas creadas con este framework utilizando su parte “Resposive Desing” se reestructuran de manera muy sencilla cuando hablamos de pantallas pequeñas.

En resumen su versatilidad para crear páginas compatibles con dispositivos móviles y su gran cantidad de complementos ha hecho que se incluya en este proyecto.

### 2.3 Análisis de la interfaz

En esta parte analizaremos todos los requisitos de cada uno de los apartados de la aplicación, para su correcto desarrollo posteriormente. Se crearán casos de uso para cada una de las partes donde se definirán como se puede interactuar con cada módulo y que podremos hacer en cada uno. Iremos desde los casos de uso más generales a los más específicos, que se corresponde a las distintas maneras de calcular la pérdida de señal.

Este análisis se utilizará como base del posterior desarrollo. Constará tanto del diagrama correspondiente como explicación detallada.

#### 2.3.1 Cobertura

A continuación veremos el primer caso de uso, el modo cobertura, este modo es el que aparece por defecto cuando entramos en la aplicación. En la nueva aplicación tendrá las mismas funcionalidades que en la aplicación anterior, por lo tanto permitirá la colocación de una antena en cualquier lugar del mapa, para posteriormente realizar los cálculos oportunos y pintar la pérdida con distintos colores en función del valor.

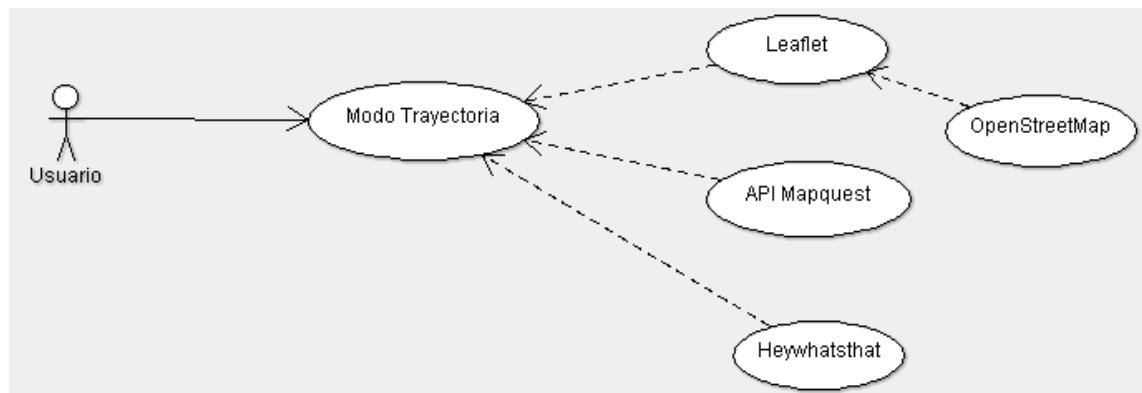


Ilustración 4 Caso de uso Cobertura

<b>CU.001</b>			<b>MODO COBERTURA</b>
<b>Versión</b>	1.0 (02/02/2015)		
<b>Requisitos técnicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> <li>- HeyWhatsthat para las gráficas topográficas</li> </ul>		
<b>Precondiciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>		
<b>Descripción</b>	El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente calcular la pérdida de cobertura, colocando la antena en punto a su elección.		
<b>Secuencia normal</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	
	1	El usuario selecciona en el menú “Modo Cobertura” (Viene por defecto al abrir la aplicación).	
	2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca la antena.	
	3	El sistema busca todos los puntos donde calculará la pérdida de señal, en función de las opciones del usuario.	
	4	El sistema calculará los puntos intermedios entre la antena y cada punto.	
	5	El sistema solicitará a MapQuest la altura de cada uno de los puntos y sus respectivos puntos intermedios.	
	6	El sistema con estos datos calculará la pérdida de señal.	
	7	El sistema pintará cuadrados o círculos (En función de lo escogido por el usuario), indicando en cada uno de ellos la pérdida correspondiente.	
	8	Por último el usuario puede pulsar sobre cualquiera de estos puntos y obtendrá todos los datos y en una nueva ventana mediante el servidor HeyWhatsthat una gráfica de elevación entre el punto y la antena.	
<b>Postcondiciones</b>			
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	
	5	El sistema cuando solicita la altura de un punto y sus intermedios, si MapQuest no le contesta sigue con los puntos siguientes. Al final se mostrará dicho cuadro o círculo vacío.	
	8	La aparición de la gráfica de elevación depende del servidor HeyWhatsthat se puede dar el caso que se abra la ventana emergente pero no se muestre información.	

Tabla 1 Caso de uso Cobertura

### 2.3.2 Punto a punto

En este modo calcularemos la pérdida y los obstáculos existentes entre un receptor y una antena ambos colocados por el usuario en cualquier parte del mapa.

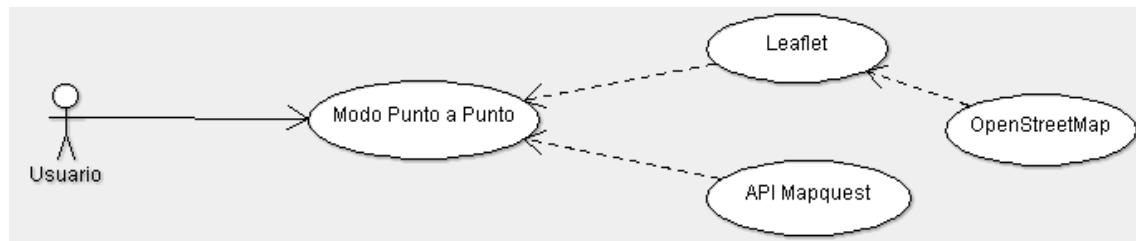


Ilustración 5 Caso de uso Punto a Punto

CU.002		MODO PUNTO A PUNTO			
Versión	1.0 (02/02/2015)				
Requisitos técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> </ul>				
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>				
Descripción	<p>El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente calcular la pérdida de cobertura entre dos puntos, colocando la antena y el punto en un lugar a su elección.</p>				
Secuencia normal	Paso	Acción			
	1	El usuario selecciona en el menú “Modo Punto a Punto”.			
	2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca la antena.			
	3	El sistema colocará la antena en dicha punto, calculando su elevación.			
	4	El usuario colocará el punto hasta donde quiere que se calcule la pérdida de señal.			
	5	El sistema busca todos los puntos intermedios entre la antena y el punto del usuario donde se calculará la pérdida de señal, en función de las opciones del usuario.			
	7	El sistema solicitará a MapQuest la altura de cada uno de los puntos y sus respectivos puntos intermedios.			
	8	El sistema con estos datos calculará la pérdida de señal.			
	9	El sistema calculará si se trata de un obstáculo, en función de la elevación de la antena, el punto seleccionado por el usuario y el punto donde se están realizando los cálculos.			
	10	El sistema pintará cada uno de los puntos intermedios, escogiendo la figura en función si es un obstáculo o no.			

	11	Por último el usuario puede pulsar sobre cualquiera de estos puntos y obtendrá todos los datos calculados en dicho punto.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	5	El sistema cuando solicita la altura de un punto y sus intermedios, si MapQuest no le contesta sigue con los puntos siguientes. Al final se mostrará dicho cuadro o círculo vacío.

Tabla 2 Caso de uso Punto a Punto

### 2.3.3 Trayectoria

El modo trayectoria permitirá colocar una antena en cualquier lugar del mapa y en función de dicha antena calcular la pérdida entre los otros puntos elegidos por el usuario.

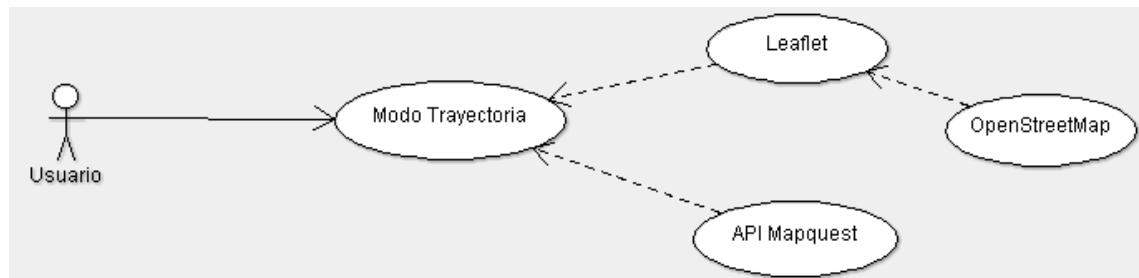


Ilustración 6 Caso de uso Modo Trayectoria

CU.003 MODO TRAYECTORIA		
Versión	1.0 (02/02/2015)	
Requisitos técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> </ul>	
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>	
Descripción	<p>El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente calcular la pérdida de cobertura, colocando la antena en punto a su elección y posteriormente los puntos entre los cuales la quiere calcular.</p>	
Secuencia normal	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	1	El usuario selecciona en el menú “Modo Trayectoria”.
	2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca la antena.
	3	El sistema pinta la antena en el punto escogido por el usuario calculando previamente la altura.
	4	El usuario escoge el punto donde se iniciará la trayectoria.

	5	El sistema calculará los puntos intermedios entre la antena y el punto escogido por el usuario.
	6	El sistema calculará la elevación de los puntos intermedios y calculará la pérdida en el punto escogido por el usuario.
	7	El sistema pinta el punto escogido como inicio de la trayectoria, incluyendo los datos sobre la pérdida.
	8	El usuario seleccionará otro punto.
	9	El sistema busca los puntos intermedios entre el nuevo punto y el punto anterior, realizando los cálculos en cada uno de ellos en función de la antena principal.
	10	El sistema pintará todos los puntos intermedios y el punto final de la trayectoria, incluyendo en cada uno de ellos toda la información calculada.
	11	El usuario puede seguir incluyendo puntos y la trayectoria irá creciendo en función de los puntos.
	12	El sistema repetirá los pasos a partir del paso “9” por cada punto introducido por el usuario.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	6	El sistema cuando solicita la altura de un punto y sus intermedios, si MapQuest no le contesta sigue con los puntos siguientes. Al final se mostrará dicho cuadro o círculo vacío.

Tabla 3 Caso de uso Modo Trayectoria

### 2.3.4 Modo distancia

En este caso el usuario podrá seleccionar un punto establecerlo como centro, para posteriormente calcular la distancia a los puntos que desee el usuario. En este caso se pueden escoger tantos puntos como considere el usuario.



Ilustración 7 Caso de uso Modo Distancia

CU.004		MODO DISTANCIA	
<b>Versión</b>		1.0 (02/02/2015)	
<b>Requisitos técnicos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> </ul>	
<b>Precondiciones</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>	
<b>Descripción</b>		El sistema deberá comportarse como se indica a continuación, cuando el usuario intente calcular la distancia entre dos puntos de su elección.	
<b>Secuencia normal</b>		<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
		1	El usuario selecciona en el menú “Modo Distancia”.
		2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca el primer punto.
		3	El sistema pinta dicho punto, mostrando información sobre sus coordenadas.
		4	El usuario escoge otro punto.
		5	El sistema calculará la distancia con el punto principal.
		6	El sistema pintará el nuevo punto mostrando información sobre el nuevo punto e incluyendo la distancia.
		7	El usuario puede seguir escogiendo puntos nuevos.
		8	Según el usuario escoja nuevos puntos se repetirán los pasos “5” y “6”.
<b>Postcondiciones</b>			
<b>Excepciones</b>		<b>Paso</b>	<b>Acción</b>

Tabla 4 Caso de uso Modo Distancia

### 2.3.5 Altura

En el modo altura el usuario podrá escoger puntos del mapa y se le mostrará información relevante a las coordenadas y a la altura en dicho punto.

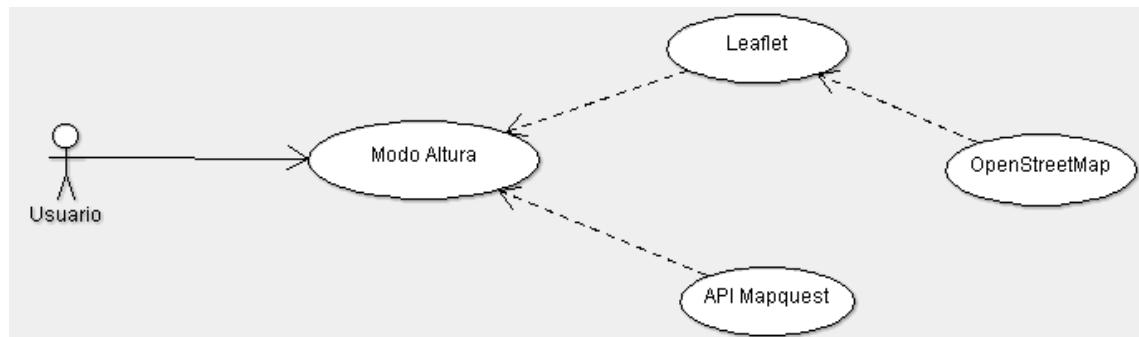


Ilustración 8 Caso de uso Modo Altura

<b>CU.005</b>		<b>MODO ALTURA</b>
<b>Versión</b>		1.0 (02/02/2015)
<b>Requisitos técnicos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> </ul>
<b>Precondiciones</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>
<b>Descripción</b>		El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente calcular la altura en cualquier punto que escoja del mapa.
<b>Secuencia normal</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	1	El usuario selecciona en el menú “Altura”.
	2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca el punto.
	3	El sistema calculará la elevación en dicho punto.
	4	El sistema pintará el punto escogido por el usuario mostrando información sobre la altura y el punto.
	5	El usuario podrá seguir seleccionando nuevos puntos.
	6	El sistema repetirá los pasos “3” y “4” con cada punto que seleccione el usuario.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	5	El sistema cuando solicita la altura de un, si MapQuest no está disponible en ese momento no pintará nada, el usuario podrá intentar la búsqueda seguidamente.

Tabla 5

Caso de uso Modo Altura

### 2.3.6 Trayectoria ruta

En el modo “Trayectoria Ruta” el usuario podrá escoger un punto, el cual será la antena o emisor, posteriormente escogerá otro punto y el sistema calculará la trayectoria entre la antena y dicho punto, calculando la pérdida en los puntos intermedios. Esta trayectoria el usuario podrá escoger que sea calculada para recorrerla en coche, en bicicleta o a pie.

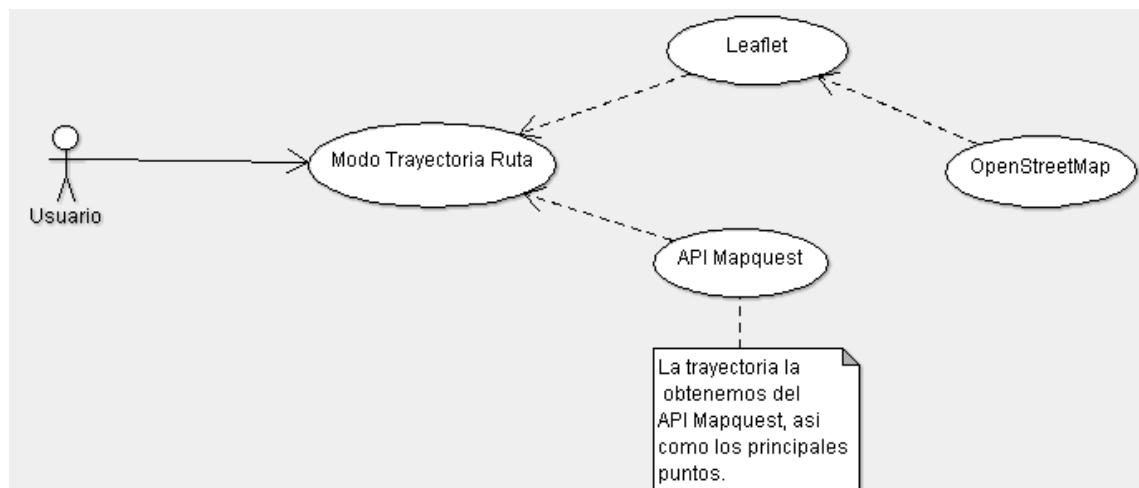


Ilustración 9 Caso de uso Trayectoria Ruta

CU.006		MODO COBERTURA	
<b>Versión</b>		1.0 (02/02/2015)	
<b>Requisitos técnicos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> </ul>	
<b>Precondiciones</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>	
<b>Descripción</b>		<p>El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente calcular la pérdida de cobertura, colocando la antena en punto a su elección y otro punto cualquiera entre los cuales se calculará una ruta, en función a las opciones escogidas por el usuario, y se calcularán los puntos intermedios de la ruta.</p>	
<b>Secuencia normal</b>		Paso	Acción
		1	El usuario selecciona en el menú “Modo Trayectoria Ruta”.
		2	El usuario busca el punto deseado en el mapa y coloca la antena.
		3	El sistema calcula la elevación del punto seleccionado a través de MapQuest.
		4	El sistema pinta la antena en el punto indicado y muestra la información obtenida.
		5	El usuario escoge otro punto a su elección.
		6	El sistema calcula la ruta (en coche, en bici o a pie) obteniendo los puntos intermedios.

	7	El sistema con esta información por cada punto calcula los puntos intermedios entre dicho punto y la antena.
	8	El sistema solicitará a MapQuest la elevación en cada punto y calculará la pérdida.
	9	El sistema con estos datos pintará cada punto, añadiendo todos los datos necesarios.
	10	El usuario podrá escoger nuevos puntos.
	11	El sistema repetirá los pasos del “3” al “9” por cada punto nuevo.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	8	El sistema cuando solicita la altura de un punto y sus intermedios, si MapQuest no le contesta sigue con los puntos siguientes. Al final se mostrará dicho cuadro vacío.

Tabla 6 Caso de uso Trayectoria Ruta

### 2.3.7 Casos de uso comunes

Los siguientes casos de uso son comunes a todos los modos, por lo que se ha decidido resumirlos en un apartado aparte. Los casos son borrar, guardar, búsqueda por coordenadas, búsqueda por ubicación y búsqueda por localidad.

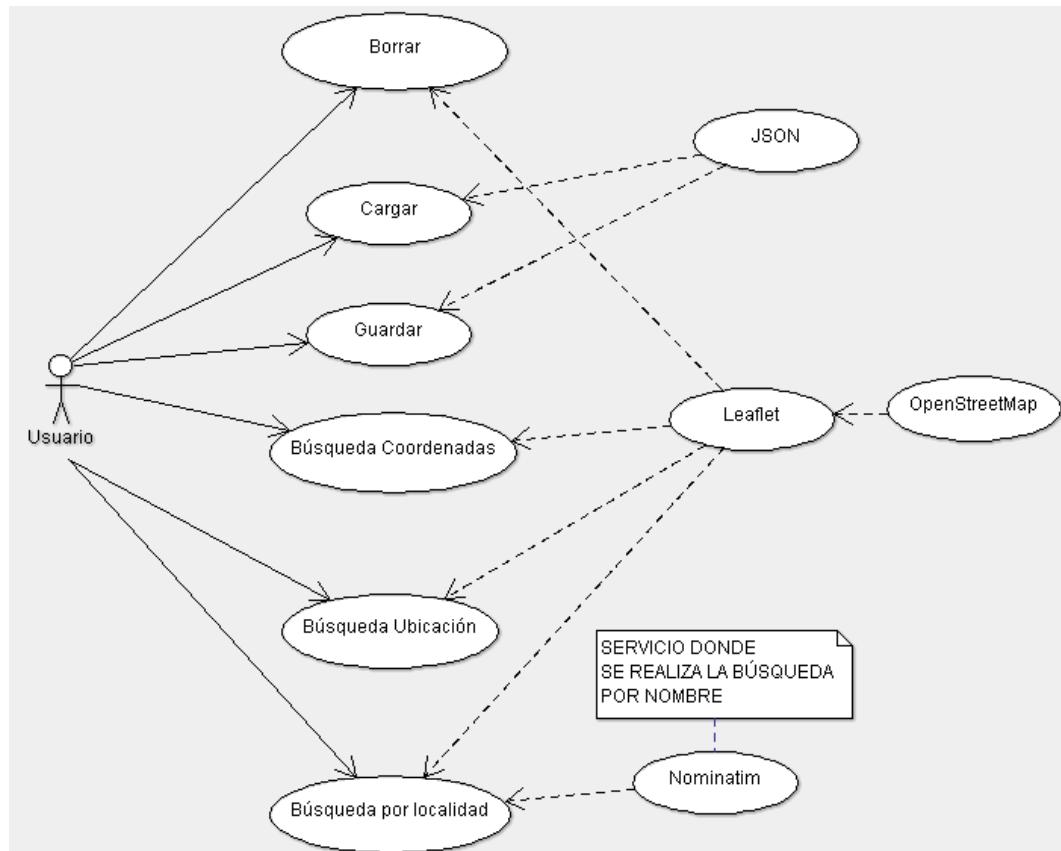


Ilustración 10 Casos de uso comunes

### 2.3.7.1 Borrar

El botón de borrar estará disponible en todos los modos siempre que hayamos pintado algo en mapa, este botón no solo limpiará el mapa, sino que reinicia todas las variables para poder iniciar los cálculos en ese mismo modo o en cualquier otro.

CU.007		BORRAR			
Versión	1.0 (02/02/2015)				
Requisitos técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> </ul>				
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> <li>- Haber iniciado alguno de los modos</li> </ul>				
Descripción	Secuencia normal	El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente borrar el contenido del mapa.			
Paso		<b>Acción</b>			
1		El usuario selecciona en el “Borrar” (Representado con una papelera).			
2		El sistema borra todas las marcas que estén pintadas en el mapa.			
3		El sistema reinicia todas las variables.			
Postcondiciones	Excepciones				
Excepciones		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Paso</th> <th>Acción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>El sistema primero comprobará que no se esté procesando información en ese momento en cuyo caso no hará nada y el usuario tendrá que volver a borrar cuando haya acabado.</td> </tr> </tbody> </table>	Paso	Acción	2
Paso	Acción				
2	El sistema primero comprobará que no se esté procesando información en ese momento en cuyo caso no hará nada y el usuario tendrá que volver a borrar cuando haya acabado.				

Tabla 7      Borrar / limpiar mapa

### 2.3.7.2 Guardar

Para guardar la información en un archivo Json después de que el sistema haya terminado cualquiera de los modos se dispondrá del botón correspondiente. Esta información se guardará en un archivo de texto con formato Json (La información detallada sobre los datos la encontraremos en la sección 2.4.4 Modelo de datos).

CU.008		GUARDAR
Versión	1.0 (02/02/2015)	
Requisitos técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> </ul>	
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> <li>- Haber iniciado alguno de los modos</li> </ul>	
Descripción	Secuencia normal	El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente guardar la información obtenida al iniciar cualquiera de los modos.
Paso		<b>Acción</b>
1		El usuario selecciona el botón “Guardar”.

	2	El sistema pasará toda la información que se muestra en pantalla a formato Json.
	3	El sistema guardará dicha información en un archivo de texto con el nombre del modo seleccionado.
	4	El sistema descargará dicho archivo a través del navegador, como cualquier otra descarga.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	4	En este paso es probable que el navegador nos muestre la opción de escoger la carpeta de descarga o lo guarde directamente.

Tabla 8 Guardar resultados

### 2.3.7.3 Cargar

Los resultados guardados de la aplicación se podrán volver a cargar en cualquier momento, para ello escogeremos la opción correspondiente y buscaremos el archivo, el sistema comprobará que es un archivo correcto y nos pintará los resultados.

CU.009		CARGAR
<b>Versión</b>		1.0 (02/02/2015)
<b>Requisitos técnicos</b>		- OpenStreetMap para los mapas
<b>Precondiciones</b>		- Conexión a internet - Navegador compatible - Rellenar las opciones
<b>Descripción</b>		El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente cargar la información guardada de cualquiera de los modos.
<b>Secuencia normal</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	1	El usuario selecciona el botón “Cargar”.
	2	El sistema mostrará la ventana correspondiente de carga.
	3	El usuario escogerá el archivo donde tiene guardada la información.
	4	El sistema comprobará que es un archivo correcto y mostrará el modo al que corresponde.
	5	El usuario aceptará en caso de que sea el modo que el esperaba.
	6	El sistema pintará los resultados que contenía el archivo.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	3	En este paso si el archivo no tiene el formato correcto se le mostrará la información al usuario para que seleccione otro archivo.

Tabla 9 Cargar resultados

#### 2.3.7.4 Búsqueda por coordenadas

El sistema permitirá buscar una ubicación introduciendo unas coordenadas (Latitud y Longitud), posteriormente el mapa se centrará en las coordenadas dadas.

CU.010			BÚSQUEDA POR COORDENADAS
<b>Versión</b>			1.0 (02/02/2015)
<b>Requisitos técnicos</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- OpenStreetMap para los mapas</li> <li>- Servidor MapQuest disponible para las alturas</li> </ul>
<b>Precondiciones</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexión a internet</li> <li>- Navegador compatible</li> <li>- Rellenar las opciones</li> </ul>
<b>Descripción</b>			El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente buscar unas coordenadas.
<b>Secuencia normal</b>	Paso	<b>Acción</b>	
	1	El usuario una vez llenado el formulario pulsará el botón “Buscar”.	
	2	El sistema encontrará la ubicación y centrará el mapa en dichas coordenadas.	
<b>Postcondiciones</b>			
<b>Excepciones</b>	Paso	<b>Acción</b>	
	2	Si las coordenadas son erróneas se mostrará un mensaje informativo.	

Tabla 10      Búsqueda por coordenadas

### 2.3.7.5 Búsqueda por ubicación

El usuario podrá seleccionar la geolocalización para que el sistema le encuentre y centre el mapa en su ubicación.

CU.011			BÚSQUEDA UBICACIÓN
<b>Versión</b>			1.0 (02/02/2015)
<b>Requisitos técnicos</b>			- OpenStreetMap para los mapas
<b>Precondiciones</b>			- Conexión a internet - Navegador compatible - Rellenar las opciones
<b>Descripción</b>			El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario localizar su posición.
<b>Secuencia normal</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	
	1	El usuario presionará sobre el botón “Localízame”	
	2	El sistema encontrará al usuario y centrará el mapa en su localización.	
<b>Postcondiciones</b>			
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	
	5	El navegador puede solicitar permiso para realizar esta acción, en caso de que sea denegada el sistema avisará que se le ha denegado la geolocalización.	

Tabla 11 Búsqueda por ubicación

### 2.3.7.6 Búsqueda por localidad

El ultimo método de búsqueda es introduciendo el nombre del lugar que deseas buscar, el sistema mostrará varias opciones y el usuario escogerá la que más se acerque a la ubicación deseada.

CU.012			BÚSQUEDA POR LOCALIDAD
<b>Versión</b>			1.0 (02/02/2015)
<b>Requisitos técnicos</b>			- OpenStreetMap para los mapas - Nominatim para buscar las localizaciones
<b>Precondiciones</b>			- Conexión a internet - Navegador compatible - Rellenar las opciones
<b>Descripción</b>			El sistema deberá comportarse como se indica a continuación cuando el usuario intente localizar una ubicación por su nombre.
<b>Secuencia normal</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>	
	1	El usuario llenará el campo con el nombre de la ubicación deseada.	
	2	El sistema se conectará con Nominatin según el usuario vaya introduciendo los datos para buscar todas las localizaciones disponibles.	
	3	El usuario escogerá la que más se acerque a su búsqueda.	

	4	El sistema centrará el mapa en dicha localización.
<b>Postcondiciones</b>		
<b>Excepciones</b>	<b>Paso</b>	<b>Acción</b>
	5	El sistema solicitará a Nominatin la localización cualquier problema en esta conexión dará como resultado que no aparezcan localizaciones en los resultados.

Tabla 12 Búsqueda por localidad

## 2.4 Desarrollo e implementación

Una vez definidos todos los casos de uso, de todos los módulos que contendrá la aplicación se procederá a explicar el diseño funcional de los módulos y el diseño de la interfaz. Describiendo detalladamente cómo funcionará cada uno de los módulos y las relaciones que encontraremos entre ellos.

### 2.4.1 Diseño funcional

Dado que se trata de una aplicación web realizada cuyas funcionalidades serán implementadas en Javascript lo primero que haremos es resumir todas las clases creadas y sus funcionalidades dentro del sistema.

Las clases más relevantes y sus relaciones:

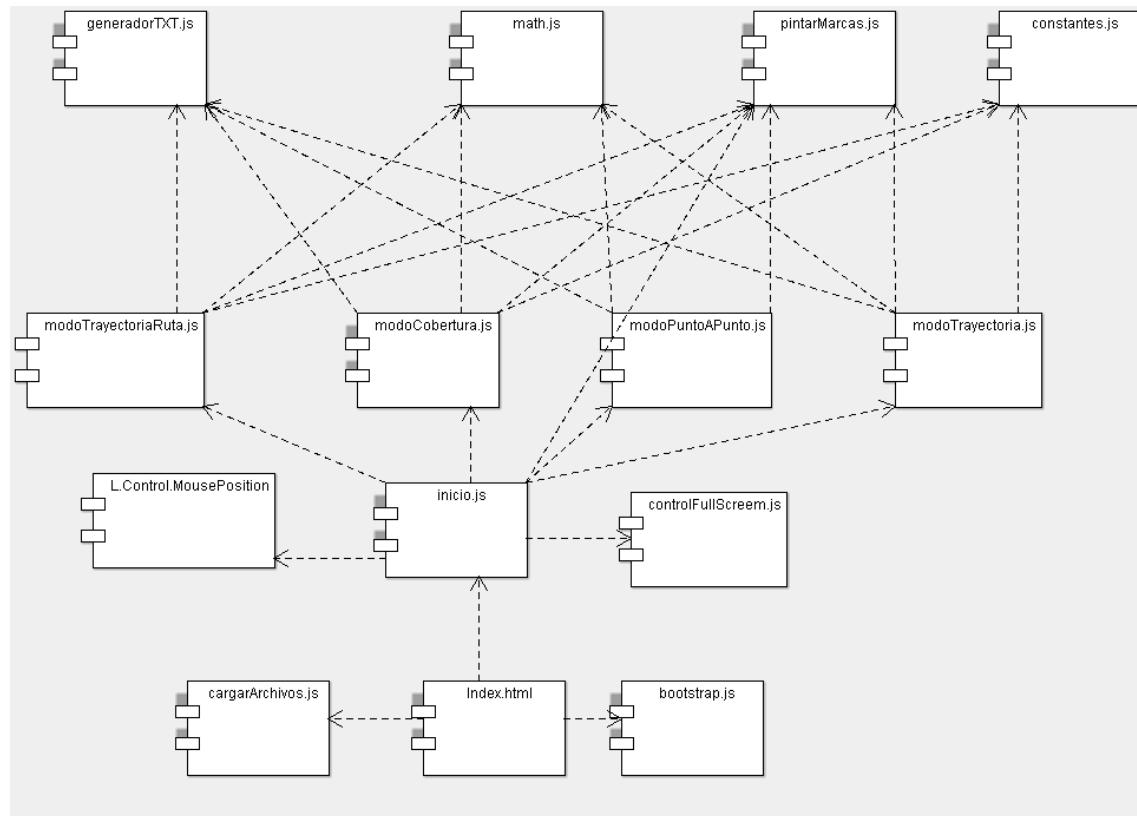


Ilustración 11 Distribución funcional de los JavaScript y HTML

Como podemos observar en la distribución las funcionalidades de la aplicación está repartida por distintos archivos Javascript, por lo que ahora se pasará a explicar los principales módulos y cuáles son sus funciones:

- Inicio.js: Este archivo Javascript es el encargado de iniciar el mapa y todas las variables cuando se abre la aplicación. También se encarga de controlar en qué modo nos encontramos en cada momento y posteriormente cuando el usuario utiliza alguno de los modos es el encargado de llamar a las funciones necesarias para iniciar los cálculos. Por otro lado contiene la parte de búsquedas, tanto la geolocalización como la búsqueda por coordenadas y por nombre.
- CargarArchivos.js: Este archivo contiene toda la lógica de la carga de archivos, es el encargado de leer el archivo y establecer que viene en un formato correcto, posteriormente se encarga de procesar los datos para su futura incorporación en el mapa.
- ModoTrayectoria.js: Este archivo contiene toda la lógica del modo Trayectoria, se encarga de realizar todos los cálculos correspondientes para su posterior envío a PintarMarcas.js.
- ModoTrayectoriaRuta.js: Este archivo guarda toda la lógica del modo Trayectoria Ruta, se encarga de realizar todos los cálculos y prepararlos para su posterior pintado en el mapa.
- ModoCobertura.js: Guarda la lógica del modo Cobertura.
- ModoPuntoAPunto.js: Contiene la lógica del modo Punto a Punto.
- GeneradorTXT.js: Este archivo es el encargado de recopilar los datos según el usuario va añadiendo objetos en cada modo, posteriormente se encarga de convertir dichos objetos a Json y descargarlo dentro de un archivo “.txt”.
- Math.js: Contiene todas las fórmulas utilizadas para el cálculo de la pérdida de señal, este archivo lo utilizan todos los módulos que necesiten calcular la pérdida.
- PintarMarcas.js: Este archivo contiene todas las interacciones con el mapa, en él no sólo se pintan todas las marcas, sino que las almacena en grupos en función del modo en que nos encontramos para su posterior borrado.

#### 2.4.1.1 Solicitudes MapQuest

Cuando ejecutamos la aplicación siempre que solicitamos una elevación, generamos una petición al servidor MapQuest mediante la función “getJson”, con este método podemos encontrarnos un problema de rendimiento si lo intentamos realizar de forma síncrona. Por lo tanto todas las solicitudes al servidor que realiza la aplicación las realizamos de forma asíncrona, lo que nos proporciona una ejecución más rápida de la aplicación pero también cuenta con desventajas, dado que la respuesta no la tenemos instantáneamente.

Para dejar más claro este concepto utilizaremos como ejemplo el Modo Cobertura explicando su funcionamiento desde que obtenemos los datos del usuario hasta que el servidor nos facilita la información solicitada.

En el Modo Cobertura el usuario selecciona un punto y a partir de ese momento la aplicación empieza a realizar los cálculos correspondientes en el siguiente orden:

1. Busca los puntos en los cuales se realizarán los cálculos, para ello tiene en cuenta la distancia seleccionada por el usuario.
2. Por cada punto busca los puntos intermedios respecto a la antena, los cuales se utilizarán para calcular la pérdida.
3. Por cada punto se genera la url que se utilizará para solicitar la elevación, esta incluye el punto mismo y sus intermedios respecto de la antena.
4. En este paso es donde se realiza la solicitud, la cual se realiza de forma asíncrona, permitiendo que la aplicación siga con su ejecución y no se congele la pantalla hasta que el servidor conteste.
5. Una vez que el servidor contesta, desde la misma función que realiza la llamada se continúa con los cálculos necesarios para mostrar los resultados.

Como vemos el paso “4” es un punto crítico de la aplicación, ya que determinará la velocidad con la se mostrarán los datos al usuario. Con este método conseguimos que los resultados se muestren progresivamente, consiguiendo dar al usuario la sensación de que la aplicación está realizando los cálculos y no se ha quedado colgada.

La principal desventaja de este proceso radica en que al no esperar la respuesta y seguir con la ejecución del programa debemos realizar cálculos dentro de la función `getJson`, haciendo que el código no este óptimo en cuestiones de diseño.

#### **2.4.1.2 Control de errores solicitudes MapQuest**

En las solicitudes a los servidores son frecuentes los errores, principalmente debido a la saturación de conexiones, que el servidor este caído o simplemente por mantenimiento. El control establecido para este tipo de errores se basa en comprobar si el servidor ha retorna los datos de forma errónea y en este caso saltarse ese punto en particular. Con esto conseguimos que la aplicación no se quede colgada esperando una respuesta que puede que no llegue y pueda seguir con el resto de puntos para los cuales es probable que si se realicen las conexiones correctamente.

#### **2.4.2 Diseño de la interfaz**

Ahora se procederá a comentar la interfaz de usuario creada, esta interfaz ha sido desarrollada pensando tanto en ordenadores de escritorio, como portátiles y móviles. Por lo que se adapta a todo tipo de pantallas, haciendo que sea cómoda y fácil de usar sin importar el tamaño de la pantalla en la que se ejecute.

##### **2.4.2.1 Diseño ventana principal**

A continuación mostraremos imágenes de cómo se adapta a cada una de las pantallas. Para el ordenador de escritorio seria la siguiente vista.

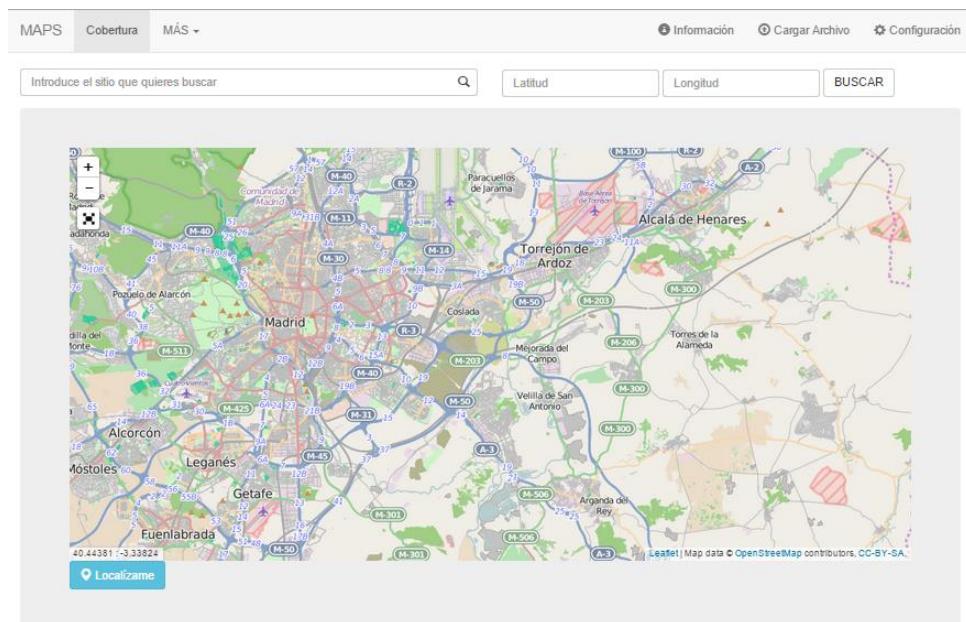


Ilustración 12 Pantalla principal en ordenador de escritorio

En la siguiente ilustración se muestra la pantalla como se vería en Tablet o pantallas pequeñas sin llegar a ser móviles. En este caso el menú y los botones siguen apareciendo de la misma manera que en ordenadores de escritorio.

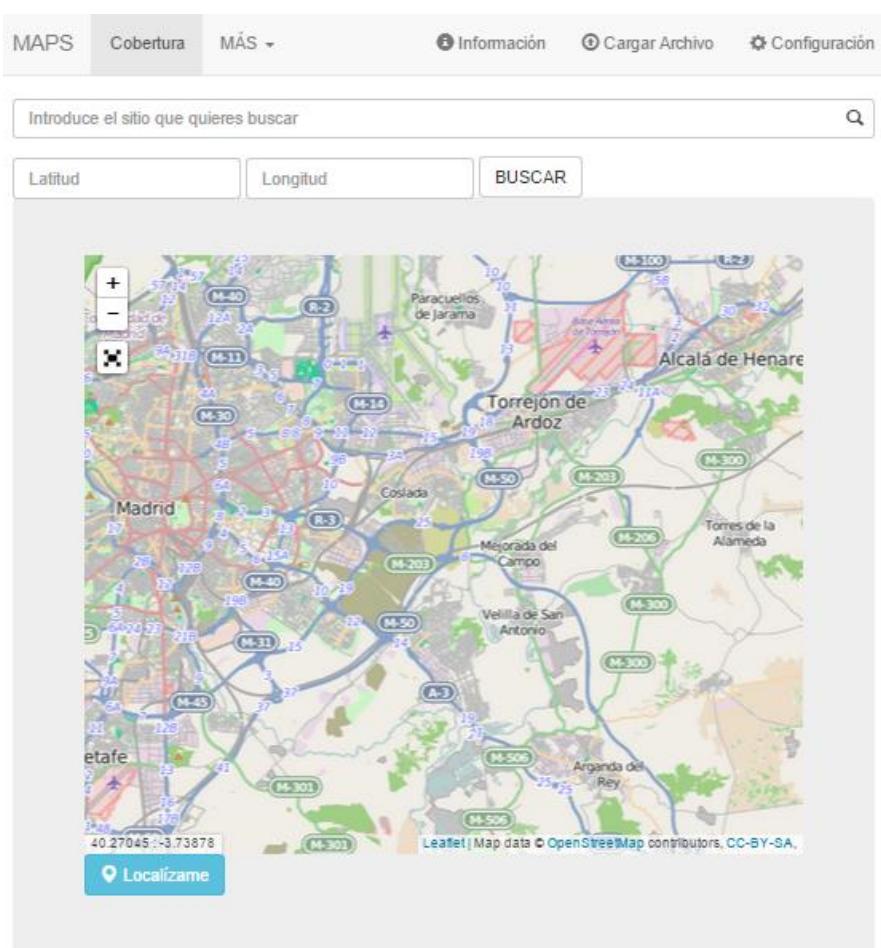


Ilustración 13 Pantalla principal Tablet

En la siguiente ilustración observamos el modo para móviles, en este caso si tenemos diferencias tanto en el menú como en los botones de acción para carga de archivos, información y configuración.

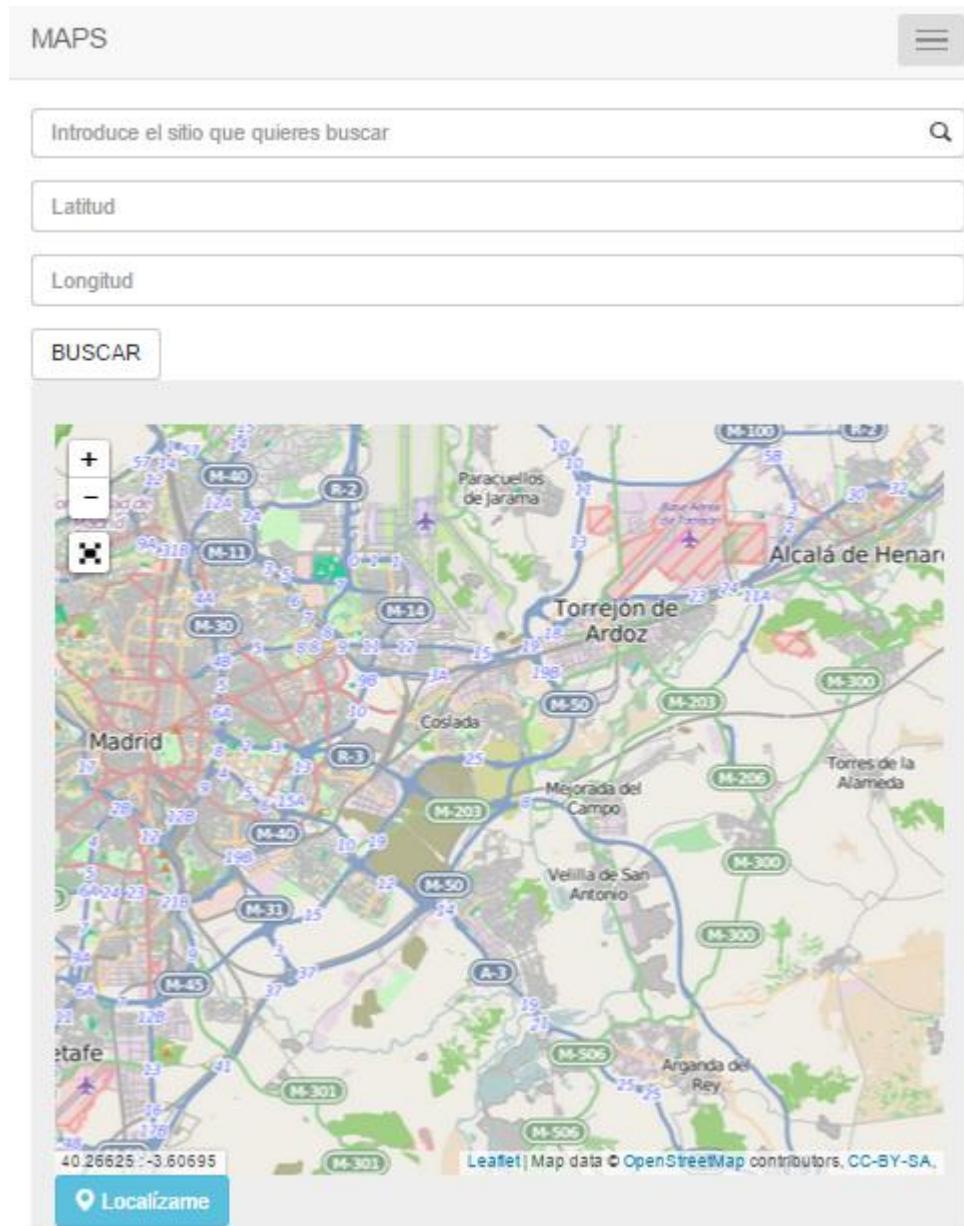


Ilustración 14 Pantalla principal para móviles

Para acceder al menú o a la configuración como comentábamos anteriormente en móviles, al adaptarlo a pantallas pequeñas se realiza con el botón de menú formado por tres rayas. En cuyo caso se vera de la siguiente manera.



Ilustración 15 Vista menú en los móviles

Como podemos observar cuenta con todas las opciones mostradas en los otros modos de vista pero agrupados para su fácil acceso desde pantallas pequeñas.

#### 2.4.2.2 Diseño paneles

Estos paneles se utilizarán para la configuración, la carga de archivos y para el panel de información.

Cuando pulsamos sobre configuración nos muestra el siguiente panel, el cual contiene todas las opciones de configuración.

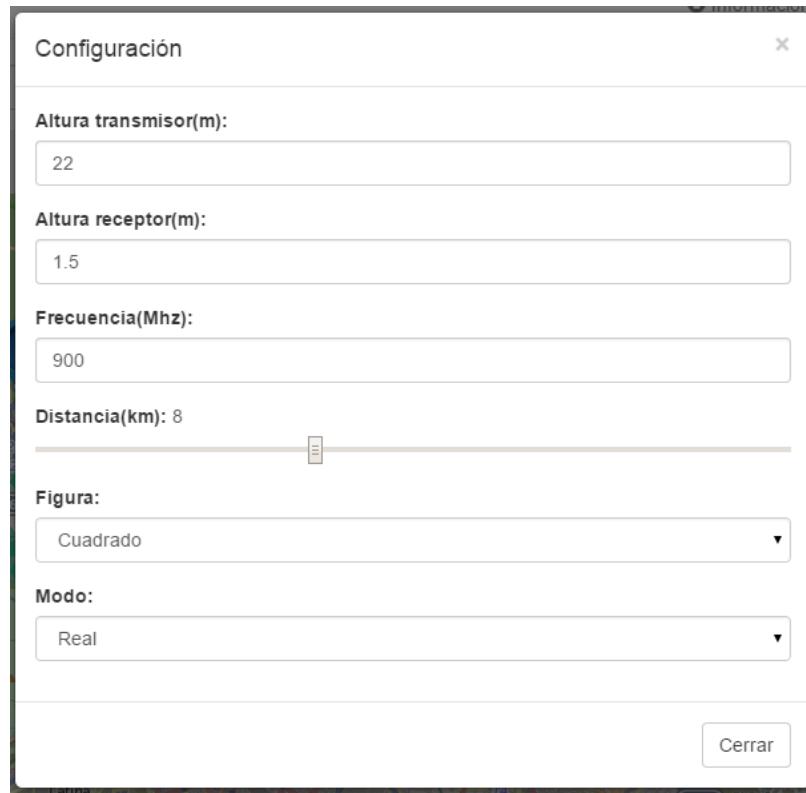


Ilustración 16 Panel configuración

Para la carga de archivos tenemos el siguiente panel, mediante el cual podemos escoger un archivo, comprobar que es correcto y cargarlo en el mapa.

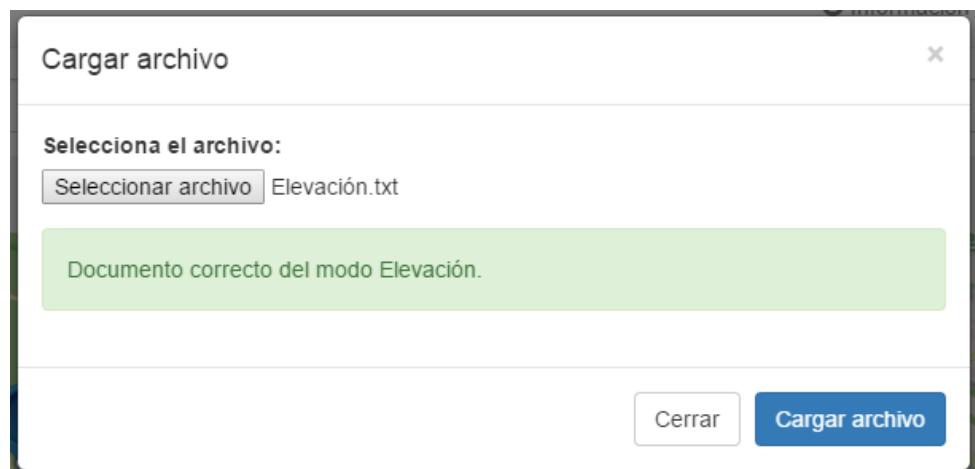


Ilustración 17 Panel carga

El último panel sólo es de lectura con información de los modos, pero con él conseguimos de un vistazo obtener la información necesaria de cada módulo.

**Modo Cobertura**

El modo cobertura ofrece la posibilidad de pintar una antena en el mapa y calcular la perdida de señal en una distancia prefijada por la configuración. Para comenzar debemos pulsar en un punto del mapa, donde se situara la antena, posteriormente la aplicación realizará los cálculos e irá pintado la perdida de cobertura.

**Modo Punto A Punto**

El modo punto a punto calcula la perdida de señal y los posibles obstáculos que encontramos entre un emisor y un receptor. Lo primero es colocar el emisor (Antena) en un punto del mapa, posteriormente podremos colocar el receptor en otro punto del mapa, obteniendo la perdida de señal en cada punto intermedio y la distancia, también se mostrará si dicho punto es un obstáculo.

**Modo Trayectoria**

Este modo de cálculo permite al usuario insertar una antena y conocer las pérdidas que se dan en una determinada trayectoria. Para ello primero se colocará el emisor en un punto que será la antena de referencia, posteriormente se colocará el primer punto donde empieza el trayecto. A partir del punto de inicio podemos ir colocando distintos puntos en función del trayecto. En cada tramo que forman los puntos colados se calcularán puntos intermedios, ofreciendo datos de la perdida de señal, coordenadas y distancia al emisor.

**Modo Distancia**

Ilustración 18 Panel información

### 2.4.2.3 Cobertura

El modo cobertura como se ha comentado anteriormente es el modo principal, el primero que carga la aplicación. En este modo se ha establecido que las marcas visuales se puedan escoger entre dos opciones, cuadrados o círculos.

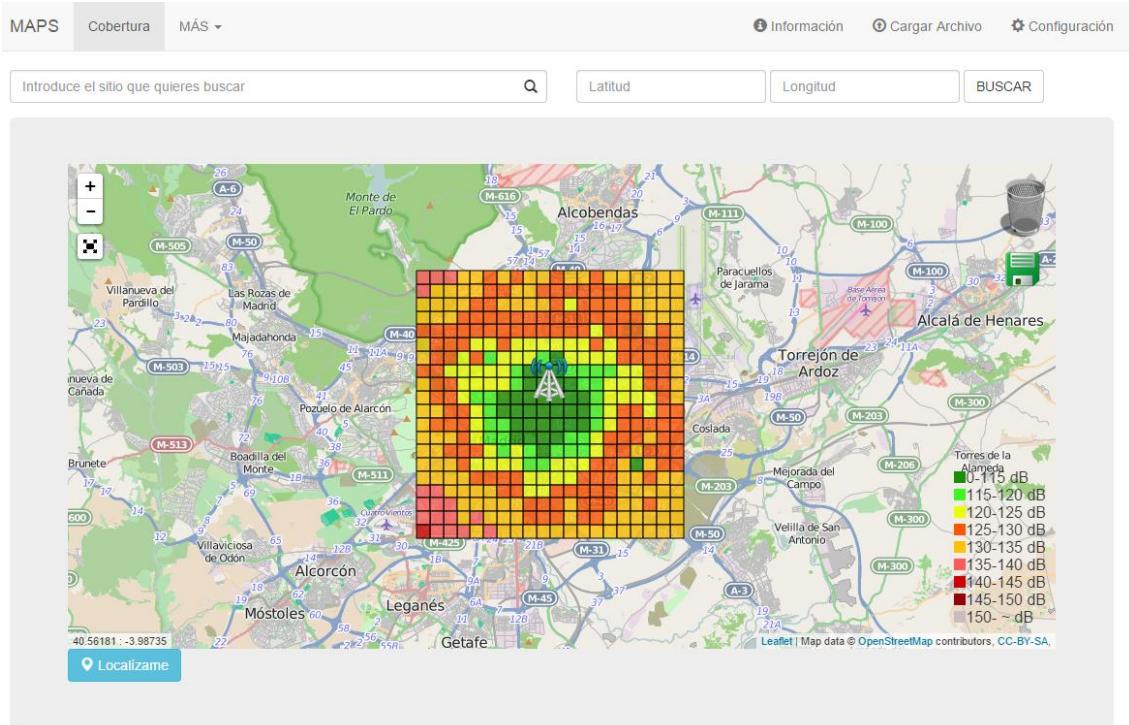


Ilustración 19 Resultados Modo Cobertura con cuadrados

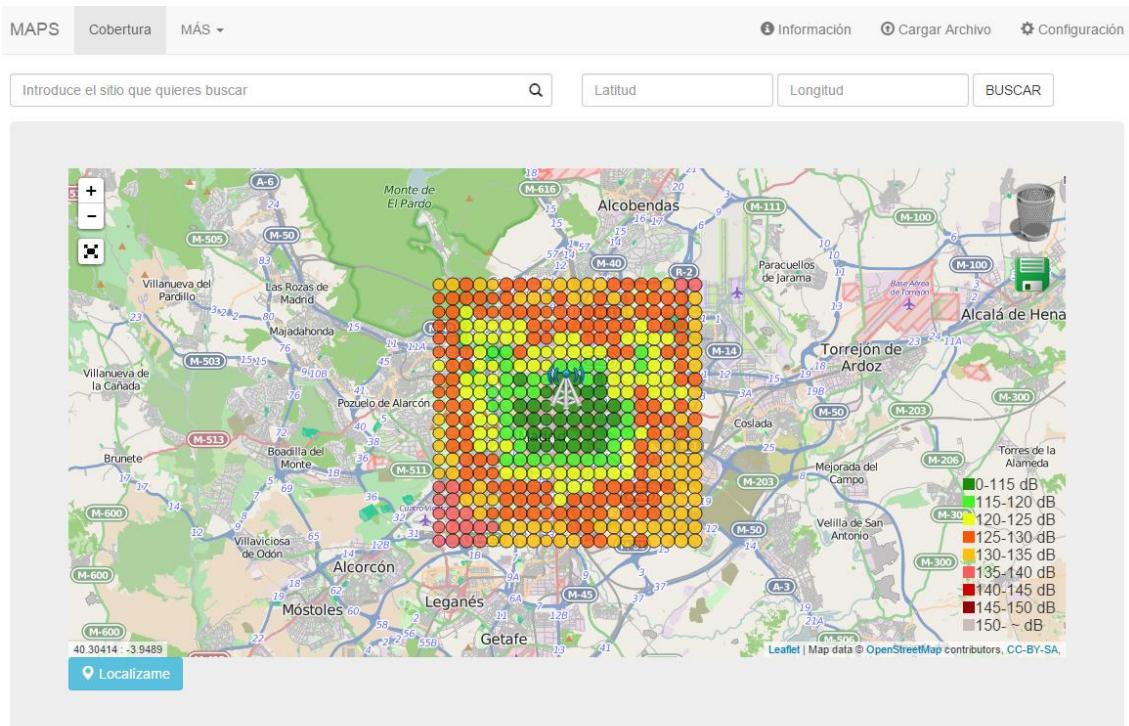


Ilustración 20 Resultados Modo Cobertura con círculos

Los colores se establecen en función de la pérdida calculada en dicho punto, los rangos de colores están incluidos en la leyenda que aparece en la parte inferior derecha del mapa, estos colores vienen declarados como constantes y pueden ser modificados de manera rápida, cambiando automáticamente la leyenda.



Ilustración 21 Leyenda Modo Cobertura

A efectos prácticos en los dos casos (cuadrados o círculos) se realizan los mismos cálculos, por lo tanto el usuario podrá escoger el que le resulte más cómodo de usar o entender. Cuando hacemos clic sobre las figuras obtenemos la información de dicho punto.

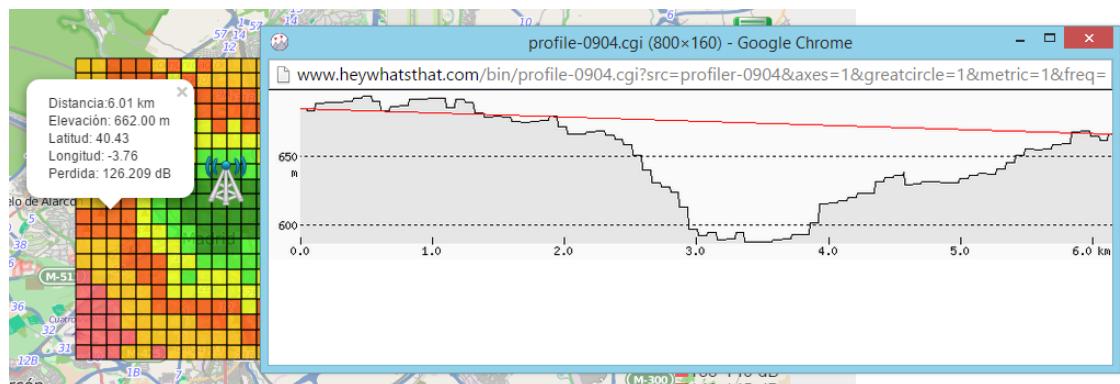


Ilustración 22 Información punto Modo Cobertura

Información Puntos Modo Cobertura		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Distancia</b>	Kilometro	Hace referencia a la distancia desde el punto seleccionado al centro o antena.
<b>Elevación</b>	Metro	Hace referencia a la elevación sobre el nivel del mar del punto seleccionado.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.
<b>Pérdida</b>	Decibelio	Hace referencia a la pérdida de señal que se sufre en dicho punto en referencia la antena colocada.

Tabla 13 Información Puntos Modo Cobertura

#### 2.4.2.4 Punto a punto

El modo Punto a Punto permite saber la pérdida de decibelios de un receptor respecto a un transmisor colocado previamente. En este caso los iconos con los que representamos los puntos se pondrán en función de si dicho punto es un obstáculo o no. Cuando hablamos de obstáculo hace referencia a que dicho punto se encuentre más elevado que la máxima altura de entre el transmisor y el receptor.

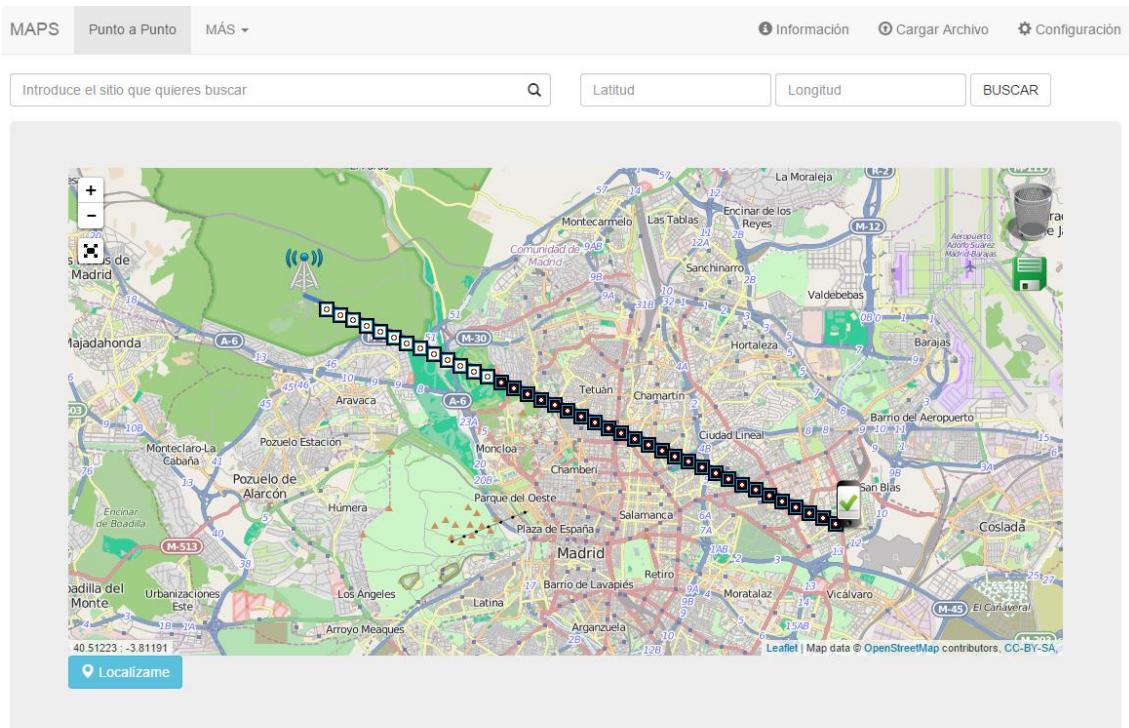


Ilustración 23 Modo Punto a Punto resultados

Como vemos en la ilustración tenemos los dos tipos de puntos.

#### PUNTO INTERMEDIO

#### PUNTO INTERMEDIO CON OBSTACULO

Ilustración 24 Iconos puntos Modo Punto a Punto

Una vez tenemos los resultados podemos pulsar sobre cualquiera de los puntos para obtener más información. Esta información también cambiará cuando sea un obstáculo ya que nos lo marcará en el panel informativo del punto.



Ilustración 25 Información punto Modo Punto a Punto

Información Puntos Modo Punto a Punto		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Distancia</b>	Kilometro	Hace referencia a la distancia desde el punto seleccionado al centro o antena.
<b>Elevación</b>	Metro	Hace referencia a la elevación sobre el nivel del mar del punto seleccionado.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.
<b>Pérdida</b>	Decibelio	Hace referencia a la pérdida de señal que se sufre en dicho punto en referencia la antena colocada.
<b>Marca Obstáculo</b>	-	Marca superior del panel informativo del punto, esta marca solo aparece en los puntos que sean obstáculos.

Tabla 14 Información Puntos Modo Punto a Punto

#### 2.4.2.5 Trayectoria

En este modo, se nos permitirá conocer la pérdida de decibelios que se da en una trayectoria. Primero se colocará la antena y posteriormente se irán colocando los puntos por los que pasará la trayectoria, a su vez esta trayectoria irán apareciendo los puntos intermedios, representados por cuadrados de distintos colores en función de la pérdida. Los puntos seleccionados por el usuario tendrán una marca blanca en el centro, para diferenciarlos del resto de cuadrados.

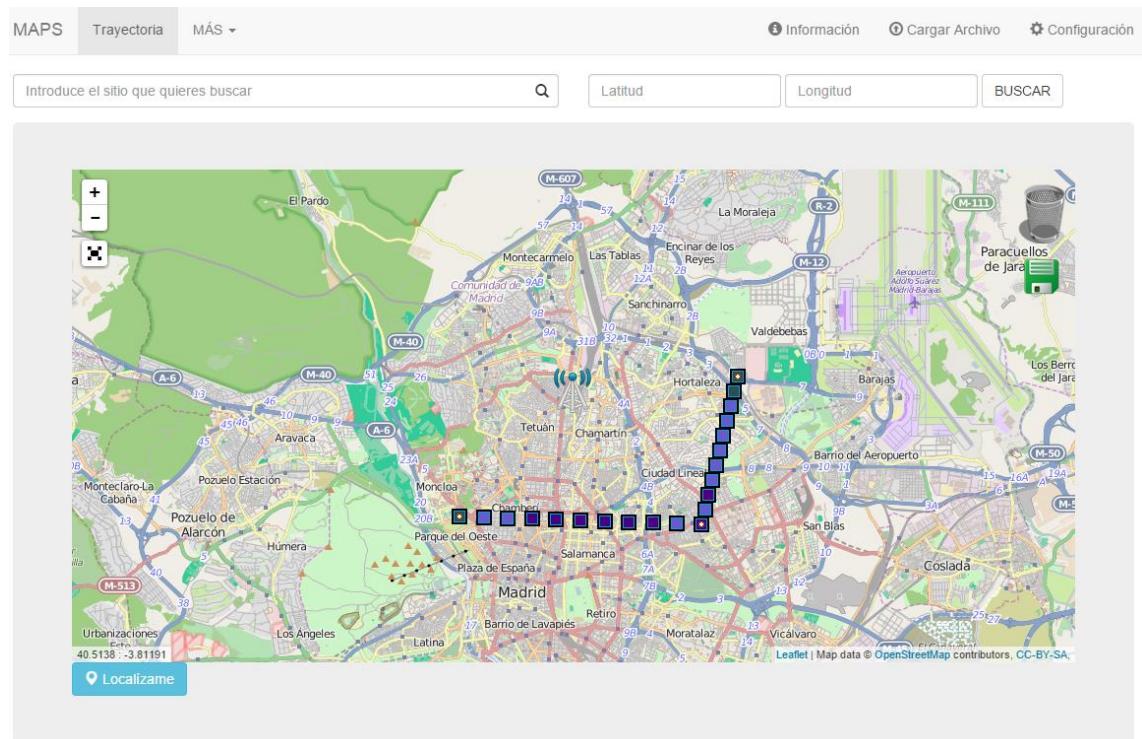


Ilustración 26 Modo Trayectoria resultados

El código de colores lo mostramos en la siguiente tabla.

Código de colores puntos Trayectoria			
Punto usuario	Punto Intermedio	Decibelios Min	Decibelios Max
		0	115
		115	120
		120	125
		125	130
		130	135
		140	145
		145	150
		150	-

Tabla 15 Código de colores Trayectoria

Una vez tenemos los resultados podemos pulsar sobre los puntos para acceder al panel con información del punto seleccionado.



Ilustración 27 Información punto Modo Trayectoria

La información que obtenemos en este modo es la siguiente.

Información Puntos Modo Trayectoria		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Distancia</b>	Kilometro	Hace referencia a la distancia desde el punto seleccionado al centro o antena.
<b>Elevación</b>	Metro	Hace referencia a la elevación sobre el nivel del mar del punto seleccionado.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.
<b>Pérdida</b>	Decibelio	Hace referencia a la pérdida de señal que se sufre en dicho punto en referencia la antena colocada.

Tabla 16 Información Punto Modo Trayectoria

#### 2.4.2.6 Modo distancia

Este modo calculará la distancia que hay entre dos puntos escogidos por el usuario. Una vez selecciona el primer punto, este quedará como centro y el resto de puntos se calculará la distancia respecto al centro.

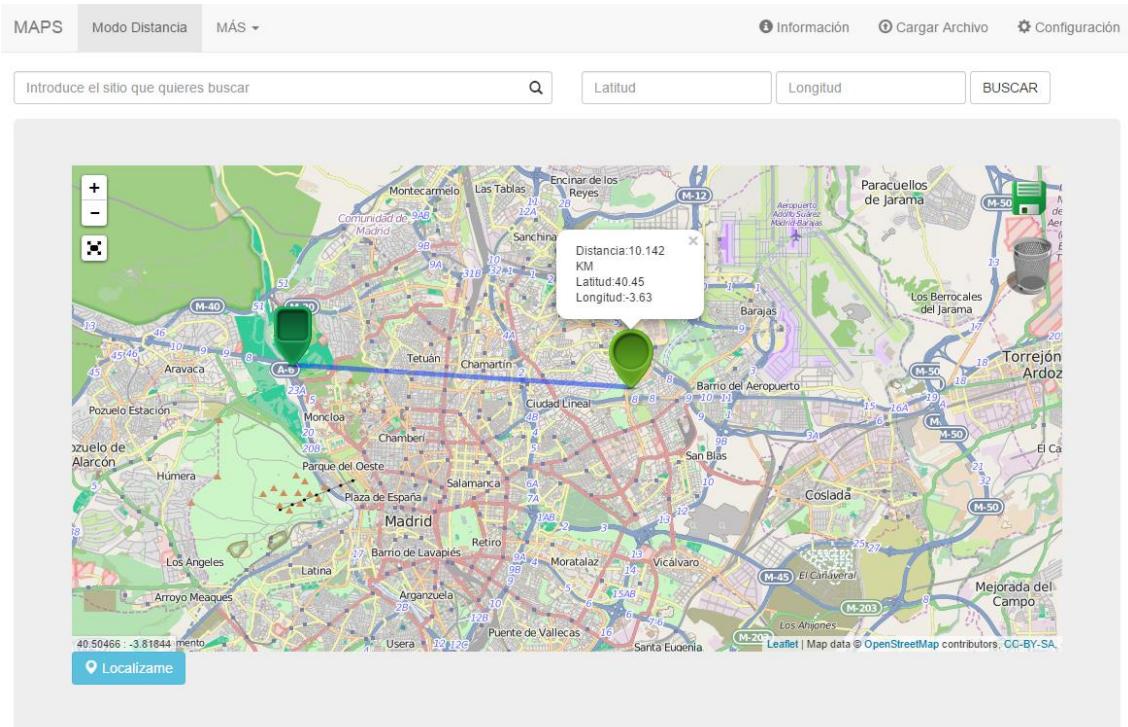


Ilustración 28 Modo Distancia resultados

Una vez se ha calculado la distancia obtendremos información del punto que hemos seleccionado.

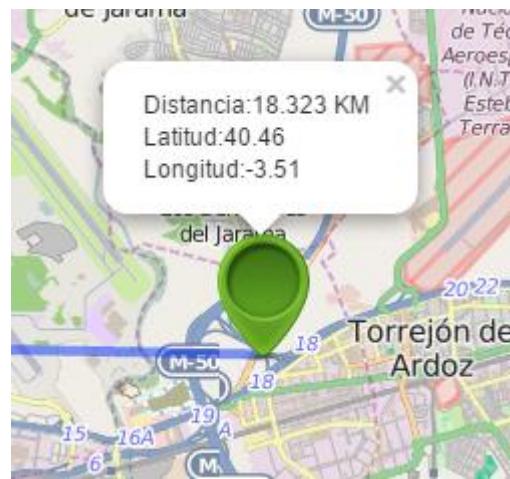


Ilustración 29 Información punto Modo Distancia

Información Puntos Modo Distancia		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Distancia</b>	Kilometro	Hace referencia a la distancia desde el punto seleccionado al centro o antena.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.

Tabla 17 Información Puntos Modo Distancia

#### 2.4.2.7 Altura

El Modo Altura permite conocer la altura exacta que tiene un punto seleccionado por el usuario.

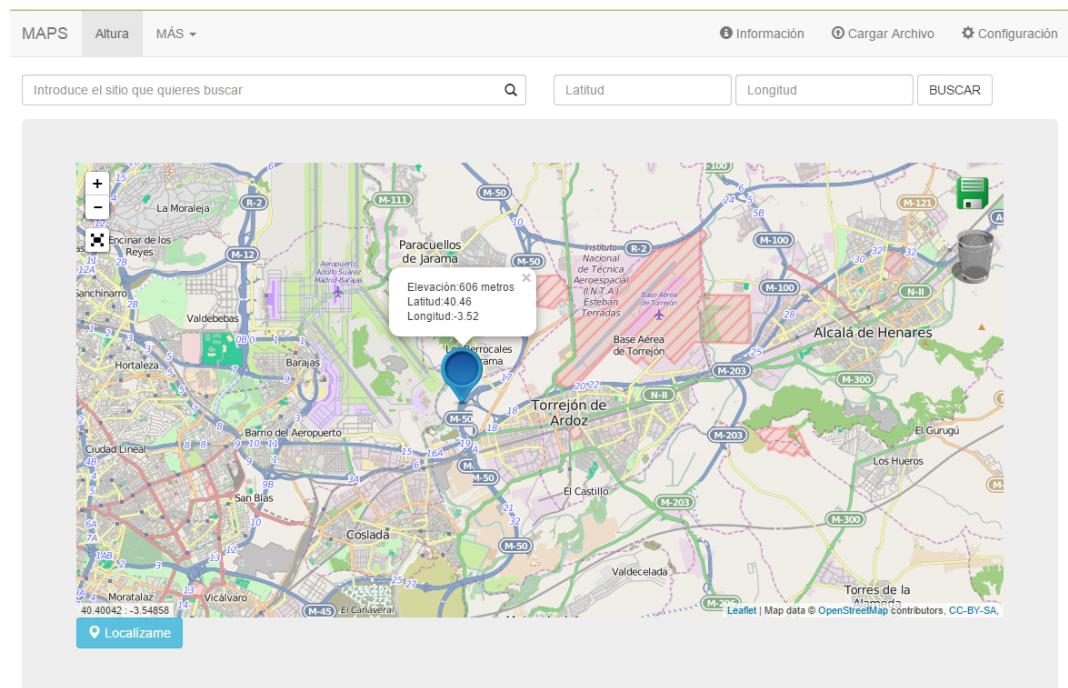


Ilustración 30 Modo Altura resultados

Una vez se ha obtenido la altura, nos aparece un panel encima del punto seleccionado con los datos calculados del punto.



Ilustración 31 Información punto Modo Altura

Información Puntos Modo Altura		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Elevación</b>	Metro	Hace referencia a la elevación sobre el nivel del mar del punto seleccionado.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.

Tabla 18 Información Puntos Modo Altura

#### 2.4.2.8 Trayectoria ruta

En este modo calcularemos la pérdida que sufre la señal a través de una ruta, esta puede ser calculada para coche, para bicicleta o para ir a pie.

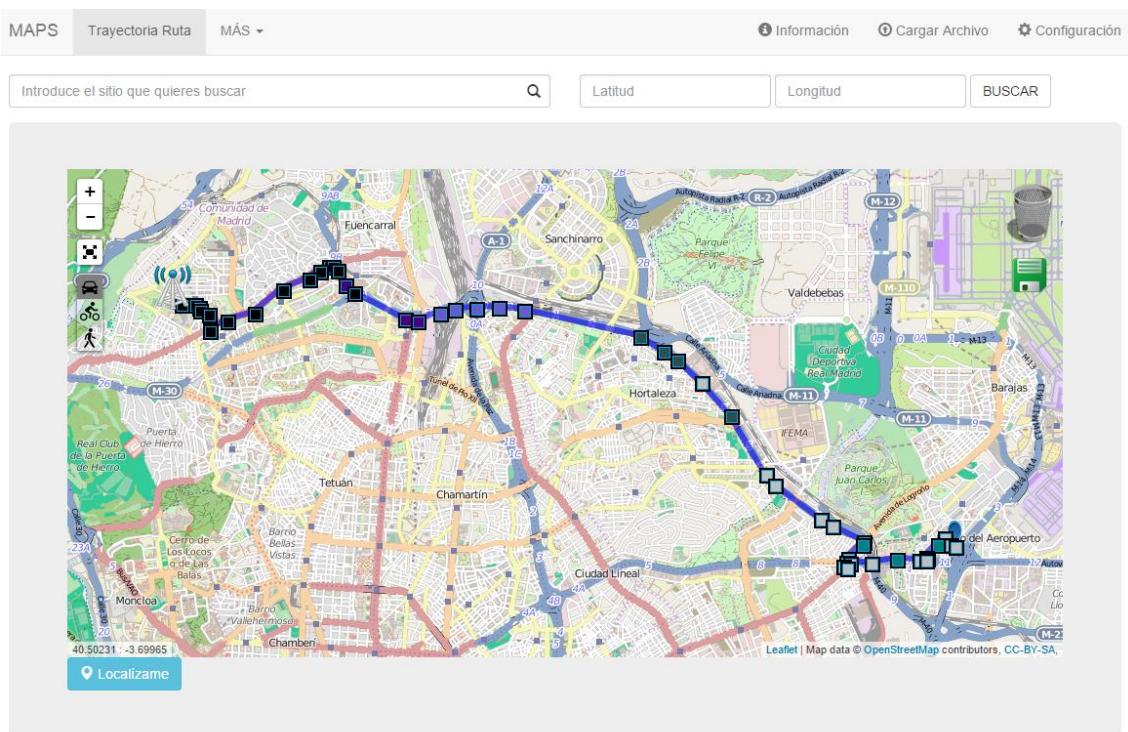


Ilustración 32 Modo Trayectoria Resultados

Los resultados se muestran con cuadrados de diferentes colores en función de la pérdida de señal que se sufre en ese punto.

Código de colores puntos Trayectoria Ruta		
Punto Intermedio	Decibelios Min	Decibelios Max
■	0	115
■	115	120
■	120	125
■	125	130
■	130	135
■	140	145
■	145	150
■	150	-

Tabla 19 Código de colores puntos Trayectoria Ruta

Sobre estos cuadrados podemos pulsar para obtener más información de dicho punto.



Ilustración 33 Información punto Modo Trayectoria Ruta

Información Puntos Modo Trayectoria Ruta		
Nombre	Unidad	Descripción
<b>Distancia</b>	Kilometro	Hace referencia a la distancia desde el punto seleccionado al centro o antena.
<b>Elevación</b>	Metro	Hace referencia a la elevación sobre el nivel del mar del punto seleccionado.
<b>Latitud</b>	-	Latitud del punto seleccionado.
<b>Longitud</b>	-	Longitud del punto seleccionado.
<b>Pérdida</b>	Decibelio	Hace referencia a la pérdida de señal que se sufre en dicho punto en referencia la antena colocada.

Tabla 20 Información Puntos Modo Trayectoria Ruta

### 2.4.3 Algoritmos cálculo cobertura

Para los cálculos de la cobertura utilizaremos una fórmula que está basada en la ofrecida por Thomas F.Eibert y Peter Kuhlmann.

$$L = Lo + Adif + Alu + Aor$$

Dónde:

- Lo: Pérdida básica mostrada en decibelios.
- Adif: Pérdida por difracción.
- Alu: Pérdida debida al tipo de terreno (rural, suburbano, urbano, etc).
- Aor: Pérdida asociada a la orientación de las calles..

Por lo tanto la pérdida básica vendrá dada por la fórmula:

$$Lo = 69.55 + 26.16 f + Ad + At + Ar + Gt + Gr$$

Dónde:

- f: frecuencia,  $80 \text{ Mhz} < f < 2200 \text{ Mhz}$
- Ad: Pérdida debida a las posibles irregularidades del terreno.
- At: Pérdida debida a la altura efectiva de la antena transmisora. Será cero cuando la altura sea igual a un metro.
- Ar: Pérdida debida a la altura efectiva del receptor,  $1.5m < hr < 20m$ . Será cero cuando la altura sea 1.5 metros.
- Gt: Ganancia isotrópica del transmisor.
- Gr: Ganancia isotrópica del receptor.

Nuestra aplicación calculará sólo la pérdida básica (Lo) por lo tanto los demás datos deben ser sumados a posteriori.

$$L = Lo + Adif + Alu + Aor.$$

Por lo tanto, de esta fórmula podemos extraer que los datos a sumar al resultado obtenido por la aplicación serán: Adif (Pérdida por difracción), Alu (Pérdida debida al tipo de terreno (rural, suburbano, urbano, etc)) y Aor (Pérdida asociada a la orientación de las calles).

### 2.4.4 Modelo de datos

Los datos tanto de entrada como de salida serán archivos de texto que contiene los datos en formato Json. Estos archivos no sólo contendrán los datos, sino también cierta información de lo que contienen y en algunos casos datos extra que ayudarán a pintar los resultados a la hora de cargarlos.

La estructura de estos archivos Json será una colección de pares Nombre/Valor, en donde el primer objeto será el que identifique el modo. Por lo tanto los datos principales serán:

CLAVE	VALOR
<b>Modo</b>	Contendrá la información del modo al que hacen referencia el resto de los datos del archivo.
<b>Centro</b>	En los modos que se pinte un centro a partir del cual se calculan el resto de los datos al guardar la información, este punto se guardará aquí. El formato será datos con la Latitud y la Longitud del punto central.
<b>Distancia</b>	En el modo cobertura, como el tamaño de los cuadros es variables, necesitamos guardar esta información para volver a pintarlos del mismo tamaño que el original.

Tabla 21 Datos de identificación

Después de los datos de identificación los siguientes objetos serán los puntos que se requieran con la información de cada uno de ellos, sigue el mismo de estilo de clave valor. Los pares más relevantes son:

CLAVE	VALOR
<b>latLng</b>	Contiene el par “lat, lng” con la información relativa a la latitud y la longitud respectivamente.
<b>Loss</b>	Contiene la información de la pérdida en dicho punto.
<b>Distance</b>	Contiene información sobre la distancia al centro (antena o punto según el caso), de cada uno de los puntos.
<b>Obstáculo</b>	En el modo Punto a Punto, contiene un booleano que guarda la información de si dicho punto se trata de un obstáculo o no.
<b>Elevación</b>	Contiene la información sobre la elevación en dicho punto.

Tabla 22 Datos generales

#### 2.4.5 Generador Json Modo Trayectoria Ruta

Para realizar los cálculos que realiza esta aplicación en entornos reales y posteriormente poder visualizarlos en nuestra aplicación, se creará una aplicación complementaria la cual permitirá generar el archivo de texto en formato Json con los datos reales para que la aplicación reconozca este archivo y se puedan mostrar gráficamente los resultados.

Esta aplicación complementaria se creará usando las mismas tecnologías que la original, pero estará aún más enfocada a utilizarse desde un dispositivo móvil. Esto se debe a su propia definición ya que el objetivo es que según se toman medidas en el exterior poder introducirlas de manera cómoda y eficiente en nuestro dispositivo móvil.

Los datos generados seguirán el modelo del Modo Trayectoria Ruta, ya que es el que más se adapta a la situación de recogida de datos en el exterior.

#### 2.4.5.1 Interfaz

Como se ha comentado esta estará principalmente enfocada a dispositivos móviles aunque podrá ser usada desde pantallas de cualquier tamaño. A continuación se muestran distintas imágenes de su visualización en los diferentes dispositivos.

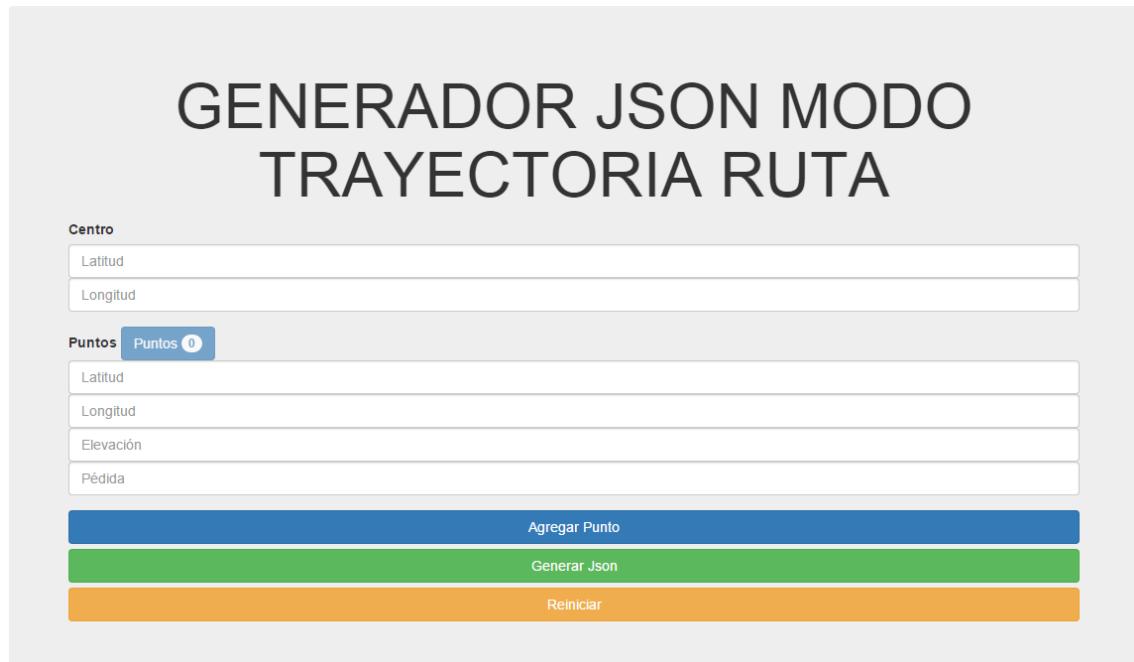


Ilustración 34 Aplicación complementaria para pantallas de gran tamaño

En las pantallas con una alta resolución vemos que se visualiza correctamente, pero al estar pensada para un uso móvil deja grandes espacios.



Ilustración 35 Aplicación complementaria para pantallas móviles

Como vemos en un móvil quedaría perfectamente optimizada, con grandes botones para su correcto uso con el dedo en caso de tratarse de una pantalla táctil.

#### 2.4.5.2 Funcionamiento aplicación complementaria

Esta aplicación complementaria funciona de manera sencilla, lo primero que deberemos hacer es introducir los datos del centro o antena.

The screenshot shows a user interface for generating a JSON trajectory route. At the top, the title 'GENERADOR JSON MODO TRAYECTORIA RUTA' is displayed. Below it, there is a section labeled 'Centro' containing two input fields with the values '30.31' and '-3.10'. A button labeled 'Puntos 0' is present. Below this, there are four input fields for 'Latitud', 'Longitud', 'Elevación', and 'Périda'. At the bottom, there are three large buttons: 'Agregar Punto' (blue), 'Generar Json' (green), and 'Reiniciar' (orange).

Ilustración 36 Paso 1 aplicación complementaria

Posteriormente introducimos los datos de los puntos que necesitemos, pulsando una vez en “Agregar punto” por cada punto introducido.

# GENERADOR JSON MODO TRAYECTORIA RUTA

Centro

30.31

-3.10

Puntos

Puntos 0

30.25

-3.5

500

120

Agregar Punto

Generar Json

Reiniciar

Ilustración 37 Paso 2 aplicación complementaria

Por cada punto introducido se irá sumando un punto al campo “Puntos”, así en todo momento tenemos el control de los puntos que llevamos introducidos.

Puntos

Puntos 2

Latitud

Longitud

Elevación

Périda

Ilustración 38 Paso 3 aplicación complementaria

Como podemos observar en la ilustración en este caso ya habría dos puntos cargados listos para pasarlo al archivo correspondiente.

Por último, cuando hayamos introducido todos los números pulsaremos sobre el botón “Generar Json” el cual automáticamente nos descarga el archivo. Obtendríamos un archivo de texto con los datos en formato Json totalmente compatible con nuestra aplicación.

```
[{"centro":{"lat":30.31,"lng":-3.1},"modo":"Trayectoria Ruta"}, {"lat":30.25,"long":-3.5,"perdida":120,"distancia":0,"elevacion":500}]
```

Ilustración 39 Resultado aplicación complementaria

En cualquier momento podemos pulsar sobre el botón “Reiniciar” para comenzar desde cero a introducir nuevos datos.

## 2.5 Conclusiones y posibles líneas de futuro

### 2.5.1 Conclusiones

Una vez realizada la aplicación con todos sus módulos, podemos extraer las siguientes conclusiones.

La nueva aplicación cuenta con una serie de módulos similares, en cuanto a funcionalidad, a los de CoverMap. La gran diferencia es la fuente de donde obtenemos los datos, en nuestro caso OpenStreetMap, que como hemos comentado a lo largo de la memoria nos ofrece grandes ventajas frente a Google Map. Al realizar la aplicación pensando desde el principio en la importancia de su uso en pantallas de cualquier tamaño, conseguimos una aplicación totalmente adaptable. Esto es importante ya que si no se tiene en cuenta desde el principio, es decir los requisitos no están bien definidos, podríamos tener problemas al adaptarla y perderíamos mucho más tiempo y esfuerzo que definiendo unos requisitos sólidos desde el principio.

Otro punto a tener en cuenta es la potencia que encontramos con “Leaflet”, una librería aparentemente sencilla pero que cuenta con gran variedad de opciones y unos plugins o añadidos muy completos. Por otro lado, a pesar de ser una librería de código abierto, cuenta con una documentación muy sólida.

Por ultimo destacar la velocidad de la aplicación, ya que en toda aplicación donde hay solicitudes a servidores los tiempos se ven resentidos, desde esta aplicación se ha intentado en la medida de los posible que estas solicitudes sean las menos posibles, intentando agrupar el mayor número de datos posibles en cada consulta, evitando conexiones innecesarias. Con esta mejora conseguimos que el usuario sienta en todo momento que la aplicación está funcionando de la manera más eficiente posible.

### 2.5.2 Posibles líneas de futuro

Como posibles líneas de futuro encontramos la opción de comprobar los resultados obtenidos desde esta aplicación en entornos reales, para un posterior análisis y mejorar las fórmulas utilizadas.

Para ello sería recomendable el montaje y la colocación de una antena referencia para su posterior estudio, configurando el analizador de espectros y el GPS para obtener

los parámetros más influyentes en las medidas de señales junto a su geolocalización, para capturar, almacenar, manipular y analizar en todas sus posibles formas la información y tratar todas las medidas realizadas para su posterior comparación con la herramienta descrita en esta memoria. Tras este análisis podríamos observar la fiabilidad de los cálculos simulados por la aplicación y una posterior mejora en base a los resultados obtenidos.

# 3 PLIEGO DE CONDICIONES

## 3.1 Condiciones generales

La ejecución de la aplicación se llevará a cabo a través del navegador web, consta de un único formato que contiene todos los módulos, disponibles a través del menú principal.

## 3.2 Condiciones de materiales y equipos

La aplicación está enfocada tanto a dispositivos móviles como de escritorio. Los requisitos mínimos cuando hablamos de ordenadores son:

	Requisitos de Windows	Requisitos de Mac	Requisitos de Linux
Sistema operativo	<ul style="list-style-type: none"><li>Windows XP Service Pack 2 o superior</li><li>Windows Vista</li><li>Windows 7</li><li>Windows 8</li></ul>	Mac OS X 10.6 o posterior	Ubuntu 12.04 o superior Debian 7 o superior OpenSuSE 12.2 o superior Fedora Linux 17
Procesador	Intel Pentium 4 o posterior	Intel	Intel Pentium 4 o posterior
Espacio libre en disco	350 MB		
RAM	512 MB		

Ilustración 40 Requisitos mínimos [17]

Estos requisitos coinciden con los requisitos de ejecución de “Google Chrome”, similares a los requisitos del resto de navegadores.

En cuanto a los dispositivos móviles, los requisitos mínimos vienen establecidos por la posibilidad de ejecutar un navegador web que cumpla las condiciones de ejecución (3.3) que se establecen más adelante.

## 3.3 Condiciones de ejecución

Para el correcto uso de la aplicación se debe disponer de los siguientes elementos imprescindibles:

- Conexión a internet, ya que los mapas e información del terreno son cargados de servicios en línea.
- Navegador compatible con HTML5, CSS3 y código Javascript.



# 4 PRESUPUESTO

En este apartado se detallará el presupuesto usado para el desarrollo de la aplicación, tanto en relación con los materiales como el coste humano.

## 4.1 Coste de hardware y materiales

El hardware con el que se ha desarrollado la aplicación ha sido un ordenador portátil, el cual cumple todos los requisitos indicados anteriormente. Los componentes y el coste total del equipo son:

COMPONENTE	PRECIO
Intel Core i5-3317U 1.70GHZ	-
RAM 4 GB (1 x 2 GB + 2 GB en placa) DDR3 1600 MHz	-
Disco Duro 500 GB sATA 5400 rpm + 24 GB SSD	-
Tarjeta Gráfica NVIDIA® GeForce® GT 620M con tecnología NVIDIA® Optimus™	-
Windows 8.1 PRO	-
ASUS ZENBOOK UX32VD	849.00€

Tabla 23 Coste de hardware y materiales

## 4.2 Coste de software

A continuación se exponen los costes de las herramientas y plataformas utilizadas. La única excepción será el sistema operativo “Windows 8.1” ya que este gasto se incluye en el precio del portátil.

Programa software	PRECIO
NetBeans IDE 8.0.2	0€
ArgoUML	0€
Microsoft Office	119.00 €
TOTAL	119.00 €

Tabla 24 Coste de Software

## 4.3 Coste de recursos humanos

Dado que los objetivos y módulos del proyecto están totalmente definidos se utilizará una metodología incremental, la cual permite ir completando funcionalidades completamente y probarla antes de pasar a la siguiente. La idea principal detrás de mejoramiento iterativo es desarrollar un sistema de programas de manera incremental, permitiéndome sacar ventaja de lo que he aprendido a lo largo del desarrollo anterior,

incrementando, versiones entregables del sistema. El aprendizaje viene de dos vertientes: el desarrollo del sistema, y su uso (mientras sea posible).

Los pasos claves en el proceso son comenzar con una implementación simple de los requerimientos del sistema, e iterativamente mejorar la secuencia evolutiva de versiones hasta que el sistema completo esté implementado. En cada iteración, se realizan cambios en el diseño y se agregan nuevas funcionalidades y capacidades al sistema.

TAREA	HORAS	COSTE HORAS	COSTE
<b>Familiarización y estudio de Leaflet y OpenStreetMap</b>	50	15.00 €	750.00 €
<b>Estudio antigua aplicación</b>	50	15.00 €	750.00 €
<b>Desarrollo de la GUI</b>	90	25.00 €	2250.00 €
<b>Desarrollo de las funcionalidades.</b>	90	25.00 €	2250.00 €
<b>Pruebas de funcionamiento.</b>	40	15.00 €	600.00 €
<b>Optimización y revisión del código</b>	20	15.00 €	300.00 €
<b>Documentación detallada del trabajo realizado.</b>	40	15.00 €	600.00 €
<b>TOTAL</b>			<b>7500.00 €</b>

Tabla 25 Coste Recursos Humanos

#### 4.4 Coste total del proyecto

El coste total será la suma de los costes desglosados calculados anteriormente.

NOMBRE	PRECIO
<b>Coste de hardware y materiales</b>	849.00€
<b>Coste de software</b>	119.00 €
<b>Coste de recursos humanos</b>	7500.00 €
<b>TOTAL</b>	

Tabla 26 Coste total

# 5 MANUAL DE USUARIO

## 5.1 Página Principal

### 5.1.1 Menú

El menú lo podemos encontrar en la parte superior izquierda de la página, el modo “Cobertura” se encuentra por defecto el primero, para cambiar de modo habría que pulsar sobre “MÁS” y posteriormente se desplegará la lista con todos los modos disponibles para su selección.

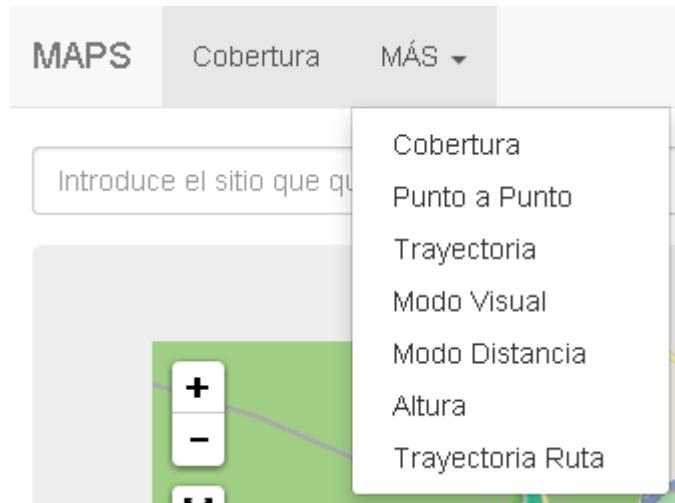


Ilustración 41 Menú principal

Una vez seleccionado un módulo este se puede observar cómo cambia el módulo seleccionado.

### 5.1.2 Configuración

Para acceder a la configuración se pulsa sobre el botón “Configuración” que se encuentra en la parte superior derecha de la página.

La configuración se sitúa en el centro de la página y las opciones son:

- Altura del transmisor: se establece la altura que tendrán las antenas.
- Altura del receptor: se establece la altura donde se encuentra el dispositivo sobre el nivel del suelo, la altura sobre el nivel del mar del punto donde encuentra el receptor lo calcula la aplicación.
- Frecuencia.
- Distancia: la distancia a partir de la antena que se desea calcula la pérdida de cobertura.
- Figura: escogemos si se pintarán cuadrados o círculos.
- Modo: donde escogemos el modo real o eficiente.

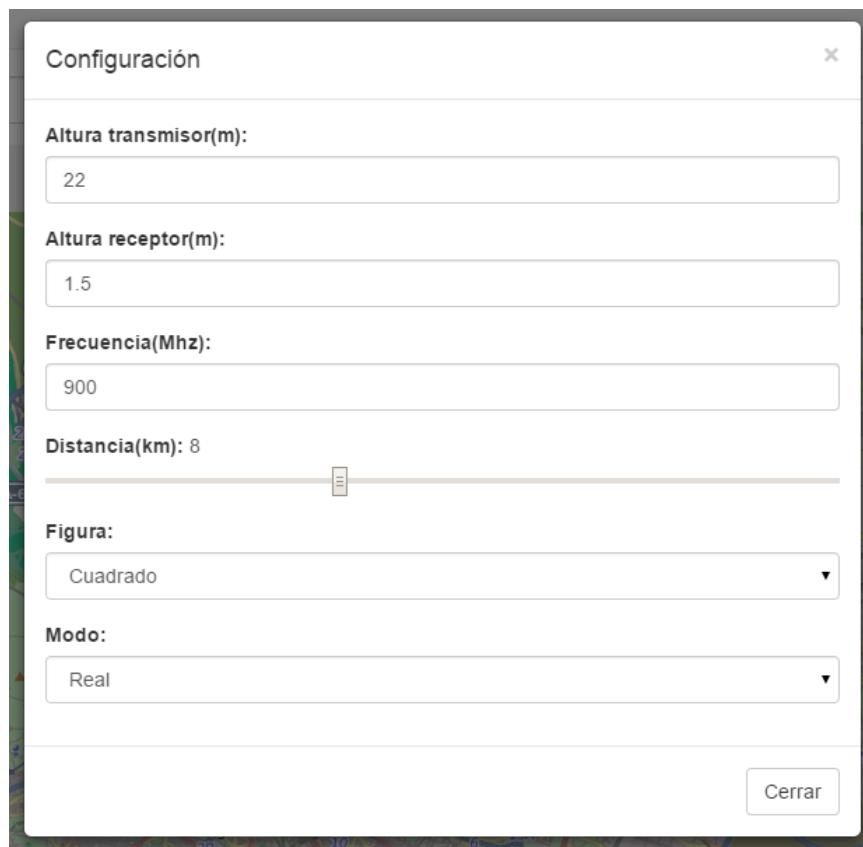


Ilustración 42 Configuración

### 5.1.3 Cargar archivos

Para acceder al panel de cargar de archivos se presionará sobre el botón “Cargar Archivo”, posteriormente se nos mostrará el panel de carga.

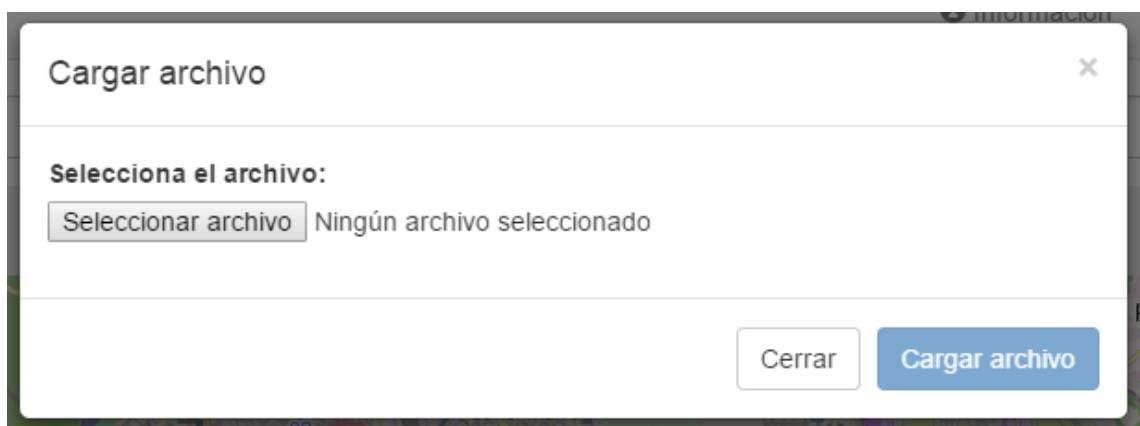


Ilustración 43 Carga de archivos

Como podemos observar en la ilustración, este panel permite seleccionar un archivo, hasta que no se seleccione el archivo y se reconozca como un formato compatible el botón “Cargar archivo” no estará habilitado.

Como aclaración, cuando la aplicación reconoce el archivo no garantiza que este correcto al 100%, posteriormente pueden ocurrir errores, se nos avisará y no se pintará nada en este caso.

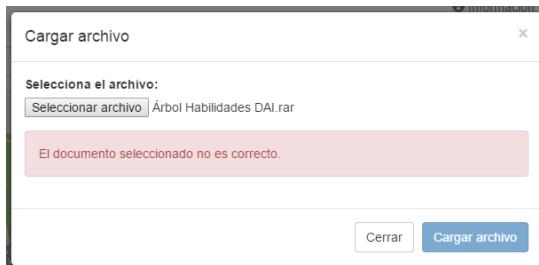


Ilustración 44 Carga errónea



Ilustración 45 Carga correcta

Como podemos ver en las ilustraciones, se nos mostrará un mensaje de información indicando si el archivo tiene el formato correcto y el modo al que hace referencia el archivo. En caso de que sea correcto se habilitará el botón “Cargar archivo”.

## 5.1.4 Búsquedas

Las búsquedas se pueden realizar por nombre del lugar, coordenadas y por último utilizando nuestra localización.

### 5.1.4.1 Nombre

Para realizar las búsquedas por nombre disponemos del siguiente campo de entrada de texto, mediante el cual podemos escribir el nombre que se desea buscar y automáticamente según vamos introduciendo los caracteres nos aparecen los resultados de la búsqueda. Una vez tenemos el resultado deseado solo faltaría seleccionarlo y el mapa se dirigirá a esa zona.

Resultados de la búsqueda:

- Madrid, Área metropolitana de Madrid y Corredor del Henares, Madrid, Comunidad de Madrid, 28080, España
- Madrid, Comunidad de Madrid, España
- Comunidad de Madrid, España
- Madrid, Franklin County, Maine, Estados Unidos de América
- La Madrid, Municipio de Lamadrid, Departamento Graneros, Tucumán, Argentina

Ilustración 46 Búsqueda por nombre

#### **5.1.4.2 Coordenadas**

Para la búsqueda por coordenadas disponemos de dos cuadros para la entrada de texto, unos para la latitud y otro para la longitud, una vez rellenamos los campos ya se procede a pulsar sobre el botón “Buscar” mediante el cual se desplaza el mapa al sitio deseado.



Ilustración 47 Búsqueda por coordenadas

#### **5.1.4.3 Localización**

Para obtener nuestra ubicación se dispone del botón “Localízame” el cual se encuentra en la parte inferior del mapa. En función de cada navegador tendremos que aceptar los permisos para proceder a la localización.



Ilustración 48 Búsqueda por localización

## 5.1.5 Panel de información

Pulsando el botón “Información” accedemos a un panel con un breve resumen de todos los modos que consta la aplicación y una pequeña ayuda del funcionamiento de cada uno.

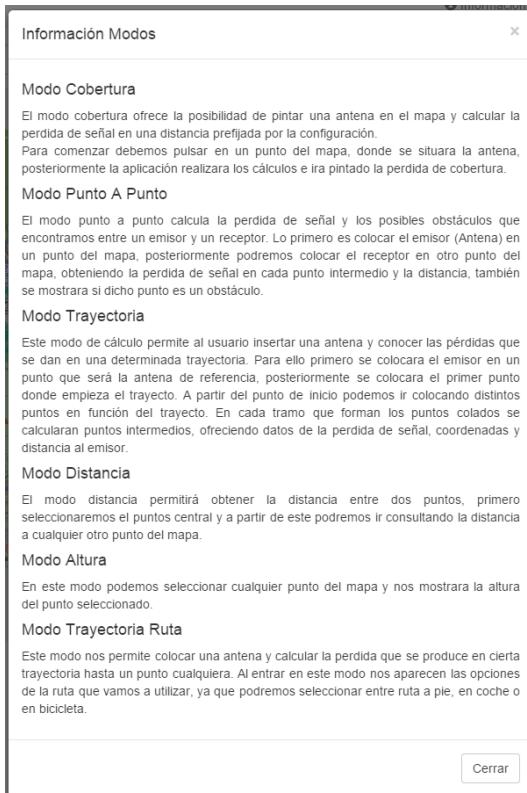


Ilustración 49 Panel de información

## 5.1.6 Controles e Información

El mapa consta de varios botones y campos con información que se encuentran ubicados en las esquinas.

### 5.1.6.1 Zoom

Para controlar el zoom se puede utilizar tanto la rueda de desplazamiento del ratón o los botones “+” y “-“que se encuentran en la parte superior izquierda del mapa.

### 5.1.6.2 Pantalla completa

Para acceder al modo pantalla completa, recomendable para pantallas pequeñas, disponemos del botón que se encuentra en la parte superior izquierda del mapa, tanto para entrar o salir de la pantalla completa se utiliza el mismo botón.

### 5.1.6.3 Coordenadas

Siempre que desplazamos el ratón por el mapa podemos observar que en la parte inferior izquierda se nos muestra las coordenadas del punto donde tenemos el ratón en ese momento, estos campos se actualizan automáticamente según nos desplazamos.



Ilustración 50 Información de coordenadas

### 5.1.6.4 Licencias

La información sobre las licencias se encuentra en la parte inferior derecha del mapa.

## 5.2 Cobertura

El modo cobertura ofrece la posibilidad de pintar una antena en el mapa y calcular la pérdida de señal en una distancia prefijada por la configuración.

Para comenzar debemos pulsar en un punto del mapa, donde se situará la antena, posteriormente la aplicación realizará los cálculos e irá pintando la pérdida de cobertura.

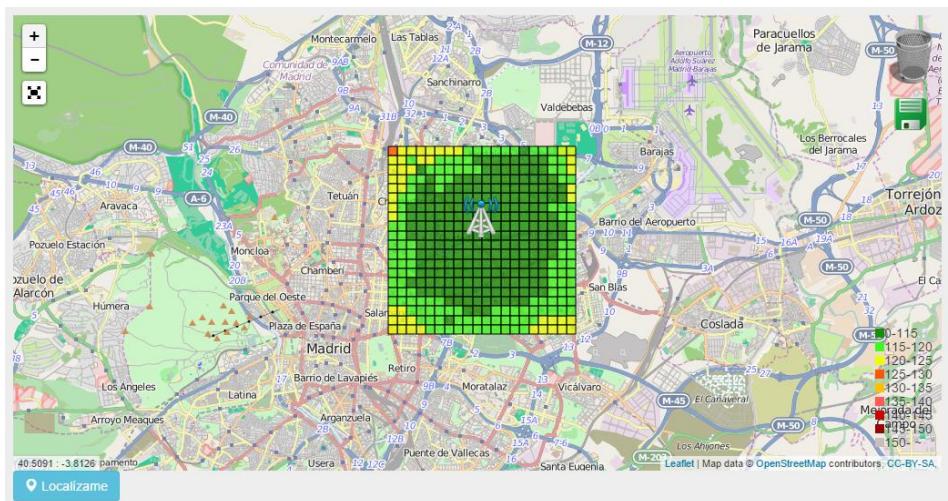


Ilustración 51 Cobertura

Una vez finalizado el proceso vemos que aparecen nuevos elementos en el mapa:

- Papelera: Borra todas las antenas y reinicia el modo cobertura.
- Leyenda: Podemos observar los rangos de pérdida de cobertura en función de los colores.
- Antena: La antena se coloca en el punto que se ha escogido, mostrando información de la elevación y las coordenadas.

- Cuadrados / Círculos: Cada cuadrado representa la pérdida de cobertura en su respectiva área. Podemos pulsar sobre ellos para obtener más información, como su distancia al centro, elevación, coordenadas y pérdida. Al pulsar también se abre una ventana emergente con información de las elevaciones que separan al punto seleccionado del punto central.



Ilustración 52 Detalle punto

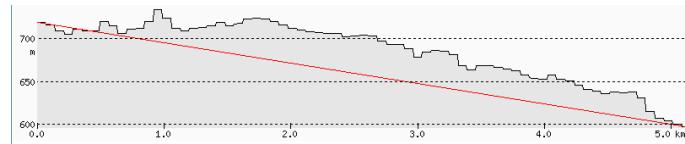


Ilustración 53 Información elevación terreno

- Descargar datos: Genera un documento de texto con la información de la antena. Los datos se descargarán en formato JSON.

### 5.3 Punto A Punto

El modo punto a punto calcula la pérdida de señal y los posibles obstáculos que encontramos entre un emisor y un receptor. Los pasos a seguir son:

- Lo primero es colocar el emisor (Antena) en un punto del mapa.
- Posteriormente podremos colocar el receptor en otro punto del mapa, obteniendo la pérdida de señal en cada punto intermedio y la distancia, también se mostrará si dicho punto es un obstáculo.

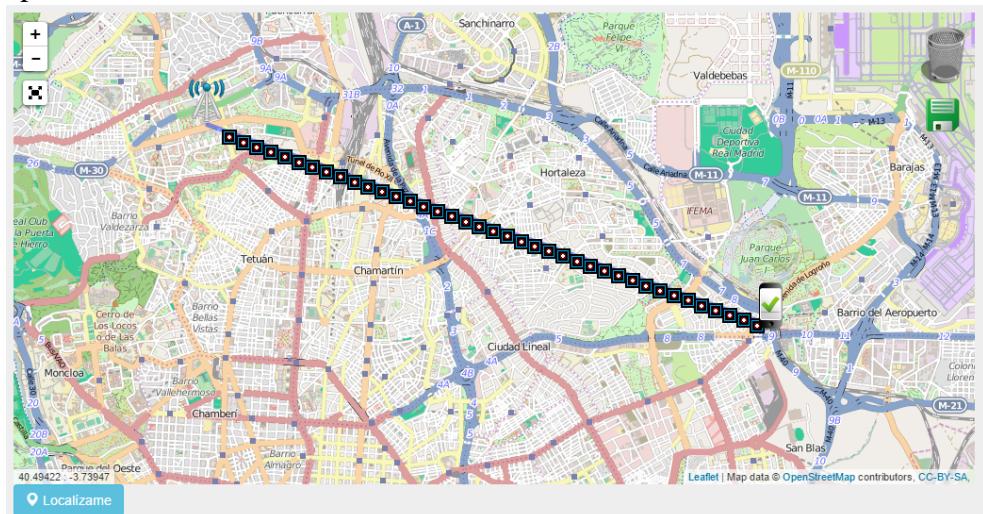


Ilustración 54 Punto a punto

- Una vez se ha realizado lo anterior, ya podemos descargar los datos con el botón correspondiente (Los datos se descargan en formato JSON). También se podrá reiniciar pulsando sobre la papelera.

## 5.4 Trayectoria

Este modo de cálculo permite al usuario insertar una antena y conocer las pérdidas que se dan en una determinada trayectoria.

- Para ello primero se colocará el emisor en un punto que será la antena de referencia.
- Posteriormente se colocará el primer punto donde empieza el trayecto.
- A partir del punto de inicio podemos ir colocando distintos puntos en función del trayecto.
- En cada tramo que forman los puntos colados se calcularán puntos intermedios, ofreciendo datos de la pérdida de señal, coordenadas y distancia al emisor.

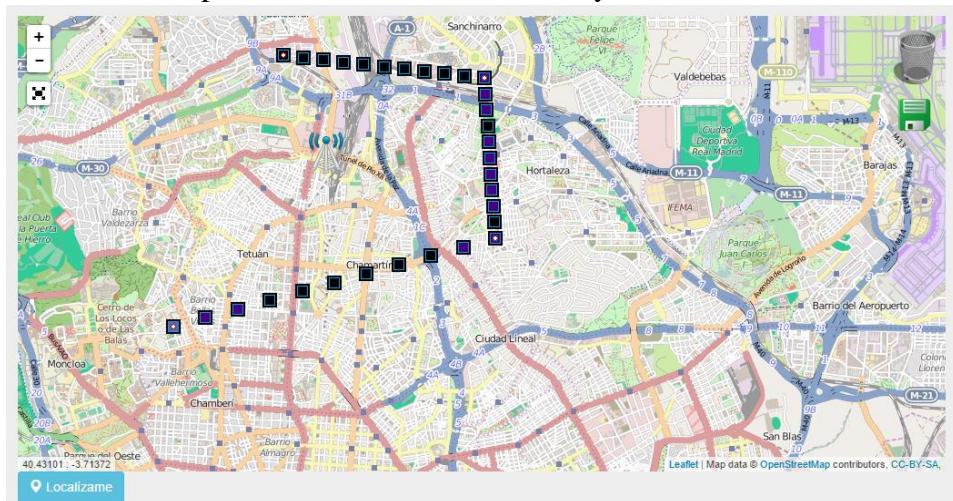


Ilustración 55 Trayectoria

Como podemos observar en la ilustración, el punto seleccionado por el usuario se marcará con un punto blanco en el centro.



Ilustración 56 Detalle punto trayectoria

Al pulsar sobre cada punto obtendremos la información de la pérdida en dicho punto, así como otros datos de interés.

- Posteriormente se podrán descargar los datos, los cuales contendrán el punto central o antena y todos los puntos creados en la trayectoria.

## 5.5 Modo Distancia

El modo distancia permitirá obtener la distancia entre dos puntos, primero seleccionaremos el puntos central y a partir de este podremos ir consultando la distancia a cualquier otro punto del mapa.

Una vez hemos seleccionado todos los puntos necesarios podremos descargar los datos con el botón correspondiente y posteriormente reiniciar el modo pulsando sobre la papelera.

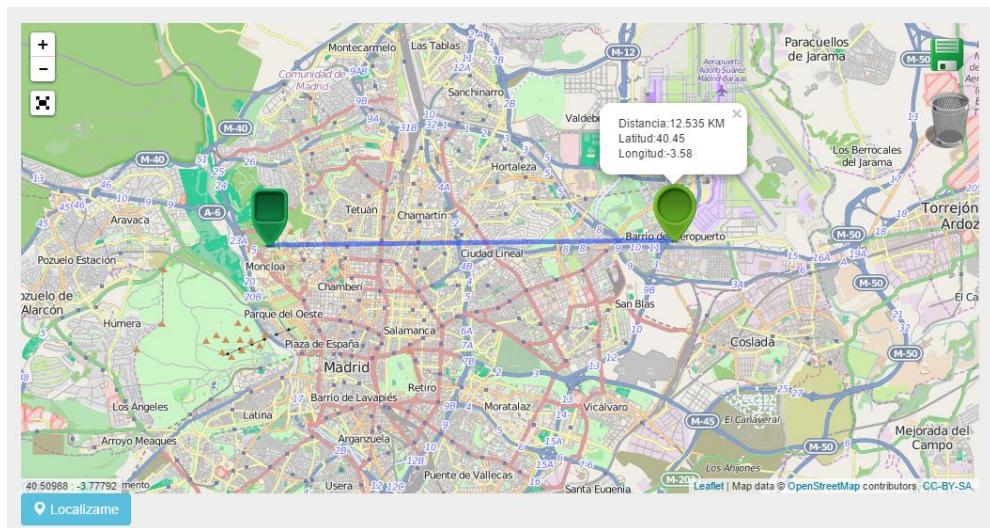


Ilustración 57 Distancia

## 5.6 Altura

En este modo podemos seleccionar cualquier punto del mapa y nos mostrará la altura del punto seleccionado. Una vez escogidos todos los puntos necesarios podremos descargar los datos.

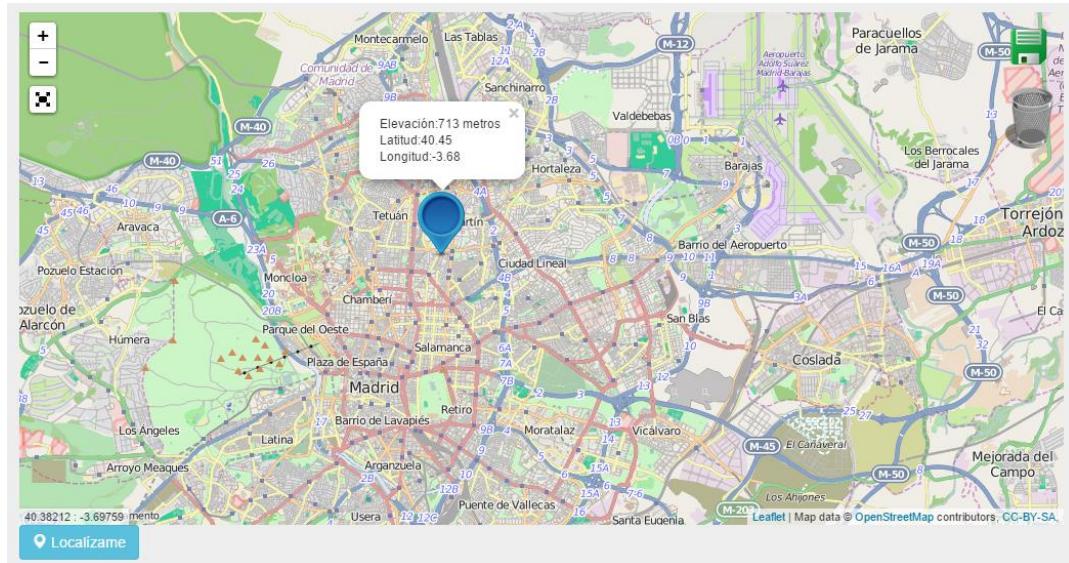


Ilustración 58 Altura

## 5.7 Trayectoria Ruta

Este modo nos permite colocar una antena y calcular la pérdida que se produce en cierta trayectoria hasta un punto cualquiera. Al entrar en este modo nos aparecen las opciones de la ruta que vamos a utilizar.



Ilustración 59 Modos trayectoria ruta

Como se observa en la imagen se puede escoger entre ruta en coche, a pie y en bicicleta. La opción que aparece con el fondo oscuro es la opción que esta seleccionada en ese momento.

Una vez hemos escogido el tipo de ruta, pasamos a escoger donde se colocará la antena. Posteriormente sólo faltaría escoger el punto hasta donde llegará la ruta.

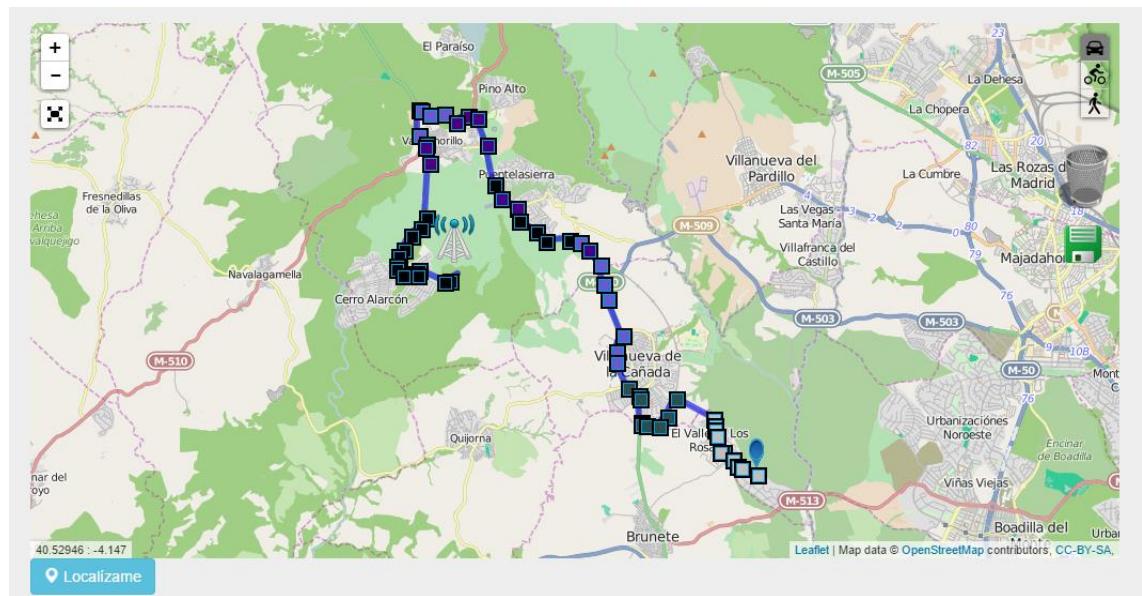


Ilustración 60 Trayectoria ruta

Como en los casos anteriores tendremos la opción de descargar los datos y de reiniciar el modo para colocar una nueva antena.

# 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Instituto Nacional de Estadística, Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares. Año 2014.
- [2] Deloitte Global Mobile Consumer Survey, May 2014
- [3] T.F Eibert y P.Kuhlmann 2003
- [4] Díaz de Lucas, Javier, CoverMap "Trabajo fin de carrera, Optimización de un sistema de cálculo de cobertura de antenas".
- [5] [https://es.wikipedia.org/wiki/Licencia\\_Abierta\\_de\\_Bases\\_de\\_Datos](https://es.wikipedia.org/wiki/Licencia_Abierta_de_Bases_de_Datos)
- [6] W.M. O'Brian, E.M. Kenny, P.J. Cullen. "An efficient implementation of a three-dimensional microcell propagation tool for indoor and outdoor urban environments" IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 49, no. 2, pp. 622-630, March 2000.
- [7] A. Roullier-Callaghan. "A radio coverage and planning tool". eh IEEE High-Frequency Postgraduate Student Colloquium, pp. 35-40, September 2001.
- [8] WINPROP, Software tool (incl, demo-version) for the Planning of Mobile Communication Networks and for the Prediction of the Field Strength in Urban and Indoor Environments, <http://winprop.ihf.unistuttgart.de>, Jan. 1999.
- [9] M.F. Cátedra, J. Pérez, F. Saez de Adana, O. Gutiérrez. "Efficient Ray-Tracing Technique for Three-Dimensional Analyses of Propagation in Mobile Communications: Application to Picocell and Microcell Scenarios". IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 40, no. 2, pp. 15-28, April 1998.
- [10] F.S. de Adana, F. Fernandez, J.L. Loranca, R. Kronberger, "Covermap: Computer tool to calculate the propagation in open areas importing data from GoogleMaps," Antennas & Propagation Conference, 2009. LAPC 2009. Loughborough, vol., no., pp.229, 232, 16-17 Nov. 2009.
- [11] OpenStreetMap Data License, "", mayo 2014
- [12] <https://es.wikipedia.org/wiki/JavaScript>, Definición Javascript
- [13] <http://leafletjs.com/index.html>, Página oficial Leaflet
- [14] <http://leafletjs.com/features.html>, Características Leaflet
- [15] <https://es.wikipedia.org/wiki/JSON>
- [16] <https://docs.kde.org/trunk4/es/kdesdk/umbrello/uml-basics.html>, Características UML.
- [17] <https://support.google.com/chrome/answer/95346?hl=es>, Ayuda de Google Chrome.