

## Trabajo Fin de Grado

# **CARTOGRAFÍA DE COBERTURA EN LAS BANDAS DE HF Y VHF DEL CAMPO DE MANIOBRAS Y TIRO DE CERRO MURIANO**

Autor

DAC. Cristina Díaz García

Directores

Director académico: Dra. M<sup>a</sup> Teresa Lamelas Gracia  
Director militar: Tte. D. Andrés Zamora Beamud

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2019



## Resumen

Un mapa de cobertura radioeléctrica es una representación física o digital de la existencia de señal electromagnética, en función de una determinada banda de emisión y de las condiciones del terreno. Esto es de vital importancia para las distintas unidades de las Fuerzas Armadas (FAS) que necesiten del despliegue de medios de Sistemas de Información y Telecomunicaciones (CIS). En la Brigada (BRI) Guzmán el Bueno X, la cartografía de cobertura radioeléctrica se ha realizado hasta el momento utilizando un método totalmente empírico-práctico que es en ocasiones costoso en tiempo.

Por este motivo, este proyecto aborda la creación de cartografía de cobertura en las bandas de *High Frequency* (HF) y *Very High Frequency* (VHF) del Campo de Maniobras y Tiro (CMT) de Cerro Muriano. Además, se pretende que pueda servir como guía para la creación de mapas de cobertura radioeléctrica en cualquier zona del mundo.

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) está dividido en dos partes muy diferenciadas. Por un lado, se encuentra la modelización y cartografía radioeléctrica que engloba: un sondeo de los medios disponibles de HF y VHF de la BRI Guzmán el Bueno X, un análisis de las herramientas software existentes para realizar un mapa de cobertura considerando estos medios y, finalmente, la creación, mediante la utilización de dos de los softwares estudiados, de la cartografía de cobertura radioeléctrica.

Por otro lado, encontramos la validación y mejora de la cartografía obtenida, mediante la utilización de los medios disponibles en la BRI, haciendo hincapié en las zonas limítrofes de cambio de calidad de cobertura. Se estudiaron las diferencias entre el resultado de la modelización y el resultado empírico-práctico y se fusionaron ambos en un solo mapa de cobertura.

Como resultado final de este TFG se obtiene la cartografía de cobertura radioeléctrica en formato digital y analógico del CMT de Cerro Muriano, la cual ha presentado un grado de fiabilidad del 66,7%.

## Abstract

*A radioelectric coverage map is a physical or digital representation of the electromagnetic signal of and specific band and terrain conditions. This is of great importance for armed forces outfits when they need the deployment of Information and Telecommunication Systems. In Brigade Guzmán el Bueno X the approach to the creation of coverage maps was based on an empirical method, which sometimes seemed to take too much long.*

*This is the reason why this project tackles the creation of coverage mapping in High Frequency (HF) and Very High Frequency (VHF) of Cerro Muriano manoeuvres and shooting field. Furthermore, it is aimed to be useful as a guide of how to design coverage maps all over the world.*

*This project is divided into two different parts. On one side, there is a modeling and radioelectric mapping which brings together a survey of the available means of HF and VHF bands of Brigade Guzmán el Bueno X, an analysis of different softwares capable of generating coverage mapping and, finally, the creation, with one of the studied software, of a radioelectric coverage map.*

*On the other side, there is the validation and improvement of the obtained coverage map, with the available means of the Brigade, emphasizing the quality change zones. The differences between the modeling and empirical results were contrasted, also both results were merged in a single radioelectric coverage map.*

*As a final result of this project, a digital and analog radioelectric coverage map of Cerro Muriano manoeuvres and shooting field is obtained, which has a 66,7% of reliability.*



## Agradecimientos

Quiero dar gracias a todas las personas que de una forma u otra han apoyado este proyecto.

En primer lugar, quería agradecer a mis padres, Araceli García Jiménez y Pedro María Díaz Domínguez, por enseñarme a abordar con entusiasmo y esforzarme en las tareas o proyectos a los que decida enfrentarme.

En segundo lugar, quería agradecer a mi Tutora académica, Doña María Teresa Lamelas Gracia, junto a mi Director Militar, Teniente Don Andrés Zamora Beamud, por haberme ayudado a encaminar mi proyecto en todo momento y haber sido firmes con los puntos a mejorar.

En tercer lugar, quería agradecer al Comandante Don Juan Manuel Lopera López, profesor en la Academia General Militar, por haberme ayudado con las cuestiones técnicas del ámbito de telecomunicaciones.

En cuarto y último lugar, quería agradecer al personal de oficiales, suboficiales y tropa pertenecientes a la Brigada Guzmán el Bueno X por haberme ayudado, ofreciéndome su tiempo y los medios necesarios para la realización de este trabajo.

# Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>V</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de Acrónimos .....</b>	<b>IX</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos y alcance.....	1
1.3. Metodología y estructura de la memoria .....	2
<b>Capítulo 2. Modelización y cartografía de cobertura radioeléctrica .3</b>	
2.1. Análisis de medios físicos .....	3
2.2. Cartografía de cobertura radioeléctrica del CMT de Cerro Muriano .....	5
2.2.1. Modelización de la cobertura utilizando Google Earth .....	7
2.2.2. Modelización de la cobertura utilizando Xirio Online .....	9
<b>Capítulo 3. Validación de resultados y mejora de la cartografía.....</b>	<b>17</b>
3.1. Cartografía de cobertura final en las bandas de HF y VHF.....	22
<b>Capítulo 4. Conclusiones .....</b>	<b>25</b>
4.1. Conclusiones del proyecto.....	25
4.2. Líneas futuras .....	25
<b>Referencias .....</b>	<b>27</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>28</b>
APÉNDICE A. Frecuencias .....	29
APÉNDICE B. Métodos de cálculo .....	30
APÉNDICE C. Coordenadas .....	34

## Índice de figuras

Figura 2-1. Herramienta cuenca visual.....	8
Figura 2-2. Estudio Enlace LOS.....	9
Figura 2-3. Cartografía baja calidad HF .....	11
Figura 2-4. Cartografía baja calidad VHF .....	13
Figura 2-5. Cartografía alta calidad VHF .....	14
Figura 3-1. Itinerario CMT Cerro Muriano .....	18
Figura 3-2. Resultado Xirio Online con respecto al itinerario .....	20
Figura 3-3. Matriz de confusión .....	22
Figura 3-4. Cartografía de cobertura VHF final .....	23
Figura B-1. Línea de vista (1).....	30
Figura B-2. Línea de vista (2).....	31
Figura B-3. Rec. UIT-R P.533.....	32
Figura B-4. Deygout.....	33

## Índice de tablas

Tabla 2-1. Comparación tipos de resoluciones.....	12
Tabla 3-1. Resultados Scores para HF.....	19
Tabla A-1. Frecuencias para HF asignadas a la BRI X.....	29
Tabla C-2. Coordenadas .....	34

## Lista de Acrónimos

ACA	Artillería de Campaña
AME	Equivalente a Modulación de Amplitud
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BRI	Brigada
CIS	Sistemas de Información y Telecomunicaciones
CMT	Campo de Maniobras y Tiro
COMSEC	Seguridad en la comunicación
CW	Onda Continua
EA	Ejército del Aire
EDT	Estructura de Desglose de Trabajo
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
HF	<i>High Frequency</i>
FM	Modulación de Frecuencia
LOS	<i>Line of Sight</i>
LQA	<i>Link Quality Analysis</i>
LSB	Banda Lateral Inferior
MDE	Ministerio de Defensa
OPSCEN	Centro de Operaciones
PEXT	Prácticas Externas
SFR	Salto en Frecuencia
SIG	Sistema de Información Geográfica
SNR	Relación de Señal-a-Ruido
TFG	Trabajo de Fin de Grado
TRANSEC	Seguridad en la Transmisión
USB	Banda Lateral Superior
VHF	<i>Very High Frequency</i>

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Motivación

En los últimos años, la necesidad de conocer la cobertura de una zona para desplegar los medios de Sistemas de Información y Telecomunicaciones (CIS) se ha vuelto fundamental para todas las Unidades Militares, no solo del Ejército de Tierra (ET), sino de todos los ejércitos que componen las Fuerzas Armadas (FAS), es decir, Armada y Ejército del Aire (EA). Debido a nuestros compromisos internacionales esta necesidad se ha visto expandida tanto por todo el territorio nacional como internacional.

La cobertura de un enlace no sólo depende de la calidad de los medios utilizados. Considerar factores como la potencia de transmisión, los obstáculos, la vegetación y la climatología hacen posible que pueda obtenerse una mayor eficiencia en el radioenlace [1].

Todas las unidades de las FAS se ven afectadas de un modo u otro a la hora de mantener a todos los escalones de mando enlazados en un despliegue. Teniendo a disposición un mapa de cobertura radioeléctrica de la zona, se reduciría el tiempo necesario para el planeamiento de un ejercicio, operación o despliegue militar, pues sabríamos de antemano las zonas en las que deberían desplegarse los medios CIS.

En la Brigada (BRI) Guzmán el Bueno X, se ha venido evaluando la cobertura radioeléctrica de la zona, sola y exclusivamente, de manera empírico-práctica. Con este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se pretende abrir nuevos caminos y métodos para conocer la cobertura en una zona de manera más eficiente, realizando una cartografía previa.

## 1.2. Objetivos y alcance

El objetivo principal de este trabajo es la cartografía de cobertura en las bandas de *High Frequency* (HF) y *Very High Frequency* (VHF) del Campo de Maniobras y Tiro (CMT) de Cerro Muriano en formato digital y analógico.

La realización de esta cartografía no solo sería de importancia para la BRI Guzmán el Bueno X, sino para todo el personal que vaya de maniobras al CMT de Cerro Muriano y que necesite del despliegue de medios CIS.

Como objetivo secundario, este trabajo pretende servir como guía para la creación de cartografía de cobertura en cualquier emplazamiento del mundo. Así pues, el fundamento de este proyecto reside en el software para generar la cartografía y la importancia de realizar este paso previo antes de las maniobras, para no realizar una búsqueda a ciegas sobre el terreno y saber de antemano los puntos verdaderamente importantes en la zona.

La fiabilidad del software utilizado se evaluará comprobando la exactitud de sus predicciones de forma empírica, sobre el terreno.

### 1.3. Metodología y estructura de la memoria

A continuación, se expone la metodología que se ha llevado a cabo para el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, para la modelización y cartografía de cobertura radioeléctrica, que se presenta en el capítulo 2, se recopiló información sobre los medios de HF y VHF que podía ofrecer la Compañía de Transmisiones de la BRI Guzmán el Bueno X. Estos medios son necesarios tanto para acotar la modelización a las características técnicas de los mismos, como para la validación de los resultados y mejora de la cartografía, consistente en la comprobación del nivel de señal en los puntos de un itinerario marcado en el CMT de Cerro Muriano. Los resultados de esta recopilación se presentan en el capítulo 2.1.

Simultáneamente, se realizó una búsqueda de los softwares más utilizados, en el ámbito laboral, para la cartografía de cobertura radioeléctrica, para la posterior elección de los más adecuados y la realización de una modelización previa y cartografía con dos de ellos. Los resultados de la búsqueda de software y modelización se presentan en el capítulo 2.2.

Con posterioridad, para la validación de los resultados y la mejora de la cartografía obtenida previamente, se llevó a cabo un itinerario de puntos en el CMT de Cerro Muriano en el que se comprobó el nivel de enlace en las bandas de HF y VHF con el material proporcionado por la BRI Guzmán el Bueno X. Una vez obtenidos los resultados de forma empírica se compararon los niveles de cobertura reales con los pronosticados por la modelización en una matriz de confusión. Los resultados de la validación y mejora de la cartografía se presentan en el capítulo 3.

Finalmente, en el capítulo cuarto se exponen las conclusiones del TFG, en las que se hace referencia, además, a una serie de líneas futuras para la mejora de los resultados.

## Capítulo 2. Modelización y cartografía de cobertura radioeléctrica

Este capítulo presenta la modelización y cartografía previa de la cobertura radioeléctrica en las bandas de HF y VHF.

En primer lugar, se presenta una descripción de los medios disponibles en la Unidad, ya que como se ha comentado con anterioridad, deben ser incluidos en la modelización.

En segundo lugar, se expone el análisis de los softwares, con la posterior elección de dos de ellos y el resultado de la modelización obtenido con los mismos.

### 2.1. Análisis de medios físicos

El radioteléfono facilitado por la Compañía de Transmisiones de la banda HF ha sido la radio RF-5800H-MP, de la que se disponía de dos unidades. Perteneciente a la familia de radios tácticas FALCON II de la empresa HARRIS, esta radio, comúnmente conocida como “5800”, opera en las bandas HF y VHF, dependiendo si utiliza modulaciones de onda celeste<sup>1</sup> o Modulación de Frecuencia (FM), respectivamente. Además, oferta comunicaciones tácticas seguras.

La “5800” tiene varios modos de trabajo. El utilizado para esta práctica ha sido el modo 3G, basado en el estándar STANAG 4538 de la OTAN [2]. Este modo de trabajo es el más utilizado en la banda de HF dada su rápida configuración del enlace, el éxito de este con Relaciones Señal-a-Ruido<sup>2</sup> (SNR) bajas y su eficiencia en el canal de la red.

El modo 3G elige la mejor de entre las distintas frecuencias que se hayan programado, en este caso las permitidas en la Compañía de Transmisiones de la BRI Guzmán el Bueno X (0). Esta elección se basa en un *Link Quality Analysis* (LQA). El LQA es utilizado por el radioteléfono para pronosticar la eficacia del enlace entre radios. El resultado del LQA se denomina *Score*. Basándose en el promedio de la SNR y la Bit Error Rate<sup>3</sup> (BER), el *Score* se encuentra entre el valor 0 y 100, donde 0 es la peor calificación y 100 la mejor [3].

Las características técnicas, obtenidas de Harris Corporation [3], son las siguientes:

- Frecuencias
  - Rango de frecuencias: 1,6 MHz a 59,999 MHz en saltos de 100 KHz.
  - 200 canales pre configurados.

<sup>1</sup> “Banda Lateral Superior (USB), Banda Lateral Inferior (LSB), Onda Continua (CW), Equivalente a Modulación de Amplitud (AME) [3]”

<sup>2</sup> “Una relación señal a ruido compara un nivel de potencia de señal con un nivel de potencia de ruido [12]”

<sup>3</sup> “BER = Cantidad de Bits recibidos con errores / Cantidad total de Bits recibidos [13]”



- Tipo de modulación (depende del modo de trabajo que se utilice)
  - LSB, USB, AME, CW, FM.
- Potencias
  - HF: 1W, 5W, 20W.
  - VHF: 1W, 5W, 10W.

El segundo medio proporcionado por la Compañía de Transmisiones ha sido el radioteléfono PR4G v3, un transceptor VHF/FM perteneciente a la familia PR4G o también conocida como la radio portátil de cuarta generación. Su denominación técnica es PR4GE F@stnet, pero comúnmente se habla de la misma como “PR4G v3”, independientemente de si la usamos con su configuración portátil tipo “man-pack” (RT-9210) o de manera vehicular (RT-9310). Las configuraciones difieren, básicamente, en los distintos accesorios, siendo el transceptor el mismo.

Con respecto a los modos de funcionamiento, el radioteléfono “PR4G v3” puede recurrir a una amplia gama de ellos: modo de frecuencia fija analógica, modos digitales (Salto en Frecuencia (SFR), Búsqueda de Canal Libre, Mixto, Frecuencia Fija Digital). Cabe destacar que para las mediciones se ha utilizado el modo de SFR, es el modo más utilizado dada la seguridad que proporciona el no recurrir a una única frecuencia para la comunicación. En SFR la radio realiza 300 saltos de frecuencia por segundo. La información se transmite cifrada debido a la utilización de las claves COMSEC (Seguridad en la comunicación) y la secuencia pseudoaleatoria viene dada por la clave TRANSEC (Seguridad en la transmisión).

Las características técnicas que se presentan a continuación han sido obtenidas del Departamento de Instrucción y Adiestramiento Específico [4]:

- Frecuencias
  - Banda de frecuencia: 30 a 87,975 MHz.
  - Separación entre portadoras: 25 KHz.
  - Número de frecuencias de trabajo: 2320.
  - Número de canales memorizados: 7.
- Potencias
  - Configuración portátil: 0,5 W, 5 W y 10 W.
  - Configuración vehicular: 0,28 W, 5 W y 50 W.
- Alcance
  - Configuración portátil
    - Antena de varilla o fleje: 6-8 Km.
    - Antena VHF sobre mástil HC-30: 12-15 Km.
  - Configuración vehicular
    - Antena vehicular 3088VM: 20-25 Km.
    - Antena VHF sobre mástil HC-30: 45-50 Km.

## 2.2. Cartografía de cobertura radioeléctrica del CMT de Cerro Muriano

La cartografía de cobertura radioeléctrica consiste en la representación de manera visual de la señal electromagnética que se recibe en una zona determinada, en función de la banda del espectro radioeléctrico que se utilice [5].

En el caso de la banda de HF, el mapa de cobertura radioeléctrica depende, en gran parte, de las condiciones de la ionosfera cuando se trata de enlaces a larga distancia. En su defecto, cuando la distancia es menor a 100 kilómetros predomina la onda de tierra y, por ende, se vuelve dependiente de la orografía y no del estado de la ionosfera [5].

En la banda de VHF predomina la onda troposférica, en la que se propaga por el espacio libre dependiendo tanto de la orografía como del tipo de antena que se utilice. En la parte superior de esta banda prevalece, además, el radioenlace de visión directa, en inglés, *Line Of Sight* (LOS). Un enlace LOS está caracterizado por el desprecio del fenómeno de difracción, por el cual, al llegar la onda a un obstáculo, este se convierte en un nuevo foco emisor. Es decir, en un enlace LOS no debe existir un obstáculo entre el emisor y receptor [5].

Para llevar a cabo este trabajo se ha procedido a realizar un análisis previo sobre los softwares apropiados para la creación de cartografía de cobertura radioeléctrica en las bandas de HF y VHF. Para recabar información al respecto, se realizó un sondeo a un total de 15 personas para la recomendación de un software sobre la creación de mapas de cobertura: 13 de ellos pertenecientes a la Compañía de Transmisiones de la BRI Guzmán El Bueno X, 1 profesor del Centro Universitario de la Defensa y 1 profesor del Departamento de Ciencias Militares de la Academia General Militar. Las personas consultadas recomendaron los siguientes softwares: Xirio Online, Radio Gis, Link Planner y Radio Mobile.

El problema principal de Radio Gis es que, primero, no es un software en sí, sino una barra de herramientas que se le añade al programa de ArcMap de la empresa Esri [6], software propietario. Para hacer uso de esta herramienta es necesario realizar la descarga del programa, de la barra de herramientas, así como obtener la cartografía y planos de altimetría. Además, únicamente se encuentra disponible para el sistema operativo de Windows.

Link Planner pertenece a la empresa Cambium Networks [7], la cual solo ofrece la demo a entidades tipo empresas y no a título personal.

Radio Mobile, por su parte, tiene una instalación muy sencilla, pero el manejo del programa se vuelve tedioso a la hora de descargar y combinar las distintas capas de cartografía. Además, carece de precisión en entornos rurales.

Xirio Online, es un simulador online de radioenlaces utilizado por múltiples operadores, ingenierías y centros de investigación. Para la utilización de este software, no se necesita descargar ningún programa ni planos. Su uso es sencillo y posee un asistente para aquellos usuarios que se inician en el programa. Tiene diferentes tipos de estudios, los más utilizados para este proyecto han sido: Enlace<sup>4</sup> y Cobertura<sup>5</sup>. Los estudios a baja resolución son gratuitos, pero están limitados en cantidad. Empero, los estudios a alta resolución no son de un precio muy elevado, lo cual es muy positivo para que el Ministerio de Defensa (MDE) pudiera invertir en ello. Con respecto a la cartografía, como se ha mencionado antes, Xirio Online no necesita de la descarga de planos de la zona, ni de altimetría. En este simulador se pueden visualizar las capas del visor de GoogleMaps, una herramienta muy conocida hoy en día dado el uso que se le da como *Global Positioning System* (GPS) a través del *Smartphone*. Además, Xirio Online cuenta con capas de Modelo Digital del Suelo (MDS). Estas capas no sólo representan la información sobre la elevación del suelo, sino que incluye elementos como edificaciones y vegetación.

Con respecto al método de cálculo que se utiliza para resolver el tipo de estudio elegido en base a las características establecidas, Xirio Online ofrece una amplia gama de ellos, incluso uno definido por el propio usuario. Más adelante se explican los métodos elegidos para los estudios de enlace y cobertura [8].

Asimismo, Xirio Online se vuelve un programa seguro, tácticamente hablando, ya que ofrece una versión intranet llamada Xirio Corp. Gracias a ello, no se necesita de acceso a Internet y sigue ofreciendo análisis de alta calidad.

Cabe destacar la existencia de otras herramientas, utilizadas en las asignaturas civiles y militares del plan de estudios del Centro Universitario de la Defensa, el cual se encuentra adscrito a la Academia General Militar, como Google Earth o Carta Digital, las cuales no ofrecen un análisis de la cobertura radioeléctrica, pero son útiles para un estudio de radioenlaces LOS de forma rápida.

Carta Digital es una aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG), desarrollada por el Centro Geográfico del Ejército de Tierra, que permite realizar estudios del terreno y localizar zonas de sombra<sup>6</sup> para los enlaces LOS [9]. Aunque Google Earth no es un SIG auténtico ya que carece de funciones de análisis espacial, para este caso concreto ofrece un mejor y más cómodo uso. Carta Digital hace que el estudio sea más complicado de realizar ya que se necesita, primero, de la descarga del programa y, segundo, la descarga de los distintos planos de altimetría y de la zona a estudiar. Por su parte, Google Earth también ofrece la capacidad de mostrarnos desde un punto concreto las zonas visibles y no visibles y el estudio del perfil de un itinerario.

<sup>4</sup> “Los estudios de enlace se crean para analizar la viabilidad de un enlace radioeléctrico [8]”

<sup>5</sup> “Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario, teniendo en cuenta el modelo de propagación y las características del transmisor y del receptor elegidos [8]”

<sup>6</sup> Zona del terreno en la cual no existe onda electromagnética entre emisor y receptor.

Estas herramientas son más que suficientes para una aproximación rápida en los enlaces LOS.

A priori, se querían obtener resultados cartográficos con la mayoría de softwares recomendados, pero dado el tiempo necesario de adaptación a un programa para adquirir resultados eficientes con el mismo, se ha decidido acotar el estudio a Xirio Online y Google Earth, ya que en ambos se pueden visualizar imágenes satelitales, relieves, etc. sin necesidad de descargarlas y en el caso de Xirio Online, este ofrece simulaciones de radioenlaces en toda la banda del espectro radioeléctrico, además de ofrecer un asistente para los que se inician en el programa y ser utilizado por múltiples operadores y centros de investigación, como ya se ha mencionado con anterioridad.

### 2.2.1. Modelización de la cobertura utilizando Google Earth

El programa informático Google Earth no es un software de análisis de cobertura en el sentido estricto de la palabra, pero sus diferentes funcionalidades nos permiten obtener una aproximación sobre los posibles radioenlaces tipo LOS. Con su fotografía satelital y la información que ofrece del terreno (alturas, pendientes, etc.) se puede realizar una estimación de manera rápida sobre este tipo de radioenlaces.

Para llevar a cabo la modelización, en primer lugar ha sido necesaria la digitalización del CMT de Cerro Muriano, acotando el terreno abarcado por este y marcando las zonas más peligrosas, como las de caída de proyectiles, las zonas de vida, edificaciones y campos de tiro.

Una vez estructurado el CMT de Cerro Muriano, se ha tomado como punto de referencia el Centro de Operaciones (OPSCEN), desde donde se controlan los movimientos del CMT. El OPSCEN, situado dentro del acuartelamiento de Cerro Muriano, es el sitio más importante de cara a conocer si los radioenlaces funcionan bien, ya que son los ojos y oídos del Estado Mayor<sup>7</sup> de la BRI Guzmán el Bueno X. El OPSCEN tiene que estar al tanto de las unidades desplegadas en el CMT, de que zonas van a ocupar, de los ejercicios que van a realizar, etc. Tienen una antena HC 30/76 desplegada de forma permanente, la cual nos ofrece un enlace en la banda de VHF.

La herramienta utilizada para realizar la modelización ha sido “Cuenca visual”. Esta herramienta nos permite observar las zonas visibles desde un punto marcado en el plano. El resultado se muestra en la Figura 2-1.

Se puede concluir que mediante la herramienta de Google Earth se puede realizar un estudio de forma rápida y eficaz sobre los posibles asentamientos de un emisor y un receptor para los radioenlaces tipo LOS. Esto es muy positivo para la toma de decisión sobre el emplazamiento de antenas VHF, pues tal y como se ha explicado con anterioridad, en la parte superior de esta banda, la recepción es buena si se encuentran en línea de visión directa.

<sup>7</sup> Órgano encargado de asesorar al General Jefe de la Brigada.



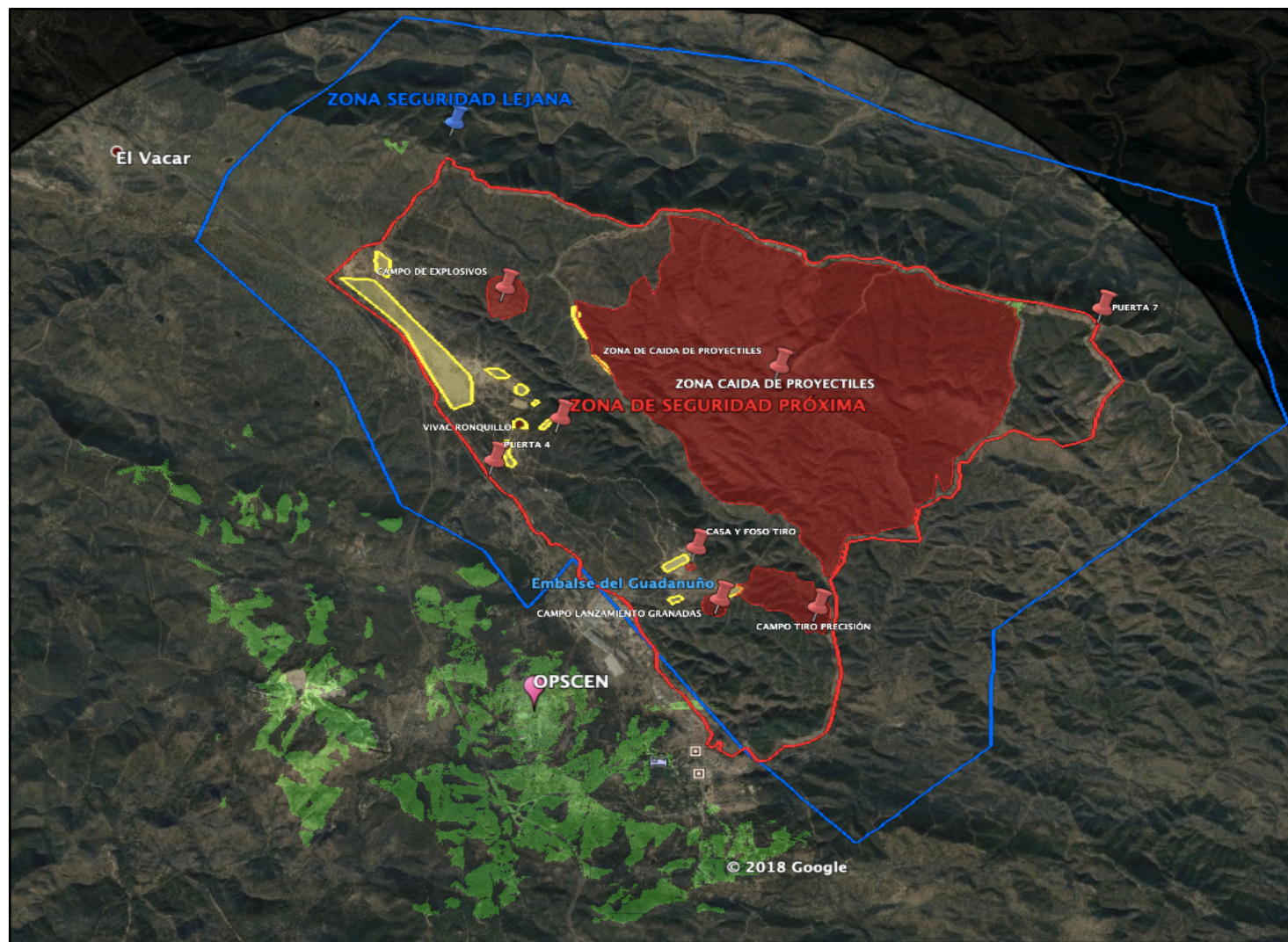
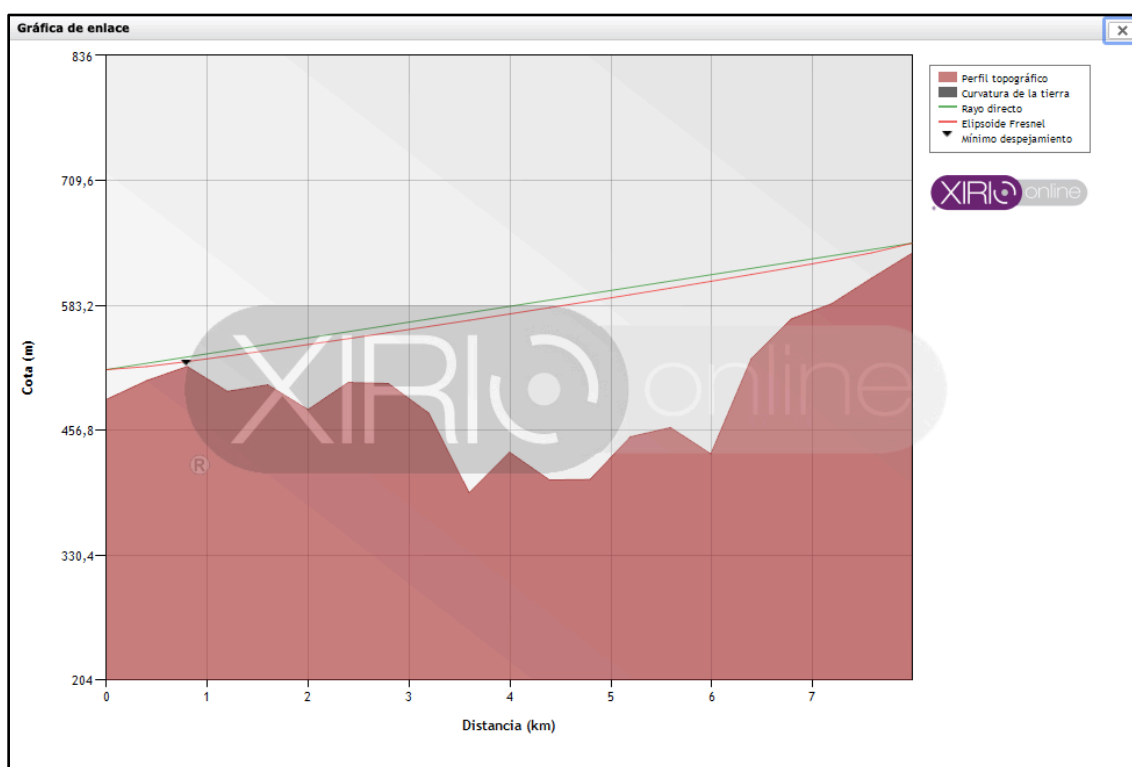


Figura 2-1. Herramienta cuenca visual

### 2.2.2. Modelización de la cobertura utilizando Xirio Online

El simulador de Xirio Online se ha utilizado para crear la cartografía de cobertura radioeléctrica en las bandas de HF y VHF mediante la herramienta de “Cobertura”. Además, se ha empleado para corroborar los enlaces de visión directa detectados por Google Earth mediante la herramienta de “Enlace”.

Para poder confirmar la eficiencia del programa de cara a realizar un estudio de los enlaces LOS, se ha estudiado una de las 3 zonas marcadas en verde por Google Earth. En la imagen siguiente (Figura 2-2) se muestra un estudio del enlace del punto verde más al este de la Figura 2-1.



**Figura 2-2. Estudio Enlace LOS**

Tras realizar el estudio sobre radioenlaces de tipo LOS con las herramientas de Google Earth y Xirio Online se concluye que, Google Earth ofrece la ventaja de la herramienta “Cuenca visual” en la que se pueden ver todos los puntos vistos desde un emplazamiento concreto. A pesar de que Xirio Online no ofrece esa opción, el resultado que ofrece del enlace de visión directa es más preciso de cara a la información que ofrece, con datos como: el rayo directo, el 60% de la zona de Fresnel<sup>8</sup> y el punto mínimo de despejamiento.

<sup>8</sup> La zona de Fresnel es volumen de espacio entre el emisor y receptor. Se representa mediante elipses concéntricas a la trayectoria del enlace. La primera elipse debe de tener un 60 % libre para que el enlace sea tolerable.

Anteriormente se mencionaban los métodos de cálculo de este simulador online. En este caso, el utilizado, ha sido: Línea de Vista. El manual de Xirio Online lo define de la siguiente forma: *“Método de cálculo que proporciona predicción del nivel de señal únicamente en condiciones de despejamiento del trayecto, aplicando la atenuación por espacio libre [8]”*. En el Apéndice B viene reflejado con más detalle en qué consiste el método de cálculo Línea de Vista.

### ***Cartografía de cobertura en la banda HF con Xirio Online***

Para la generación teórica de la cartografía en HF se ha utilizado, como se ha comentado con anterioridad, la herramienta de “Cobertura”. A continuación, se muestran los parámetros más significativos utilizados para el funcionamiento del programa:

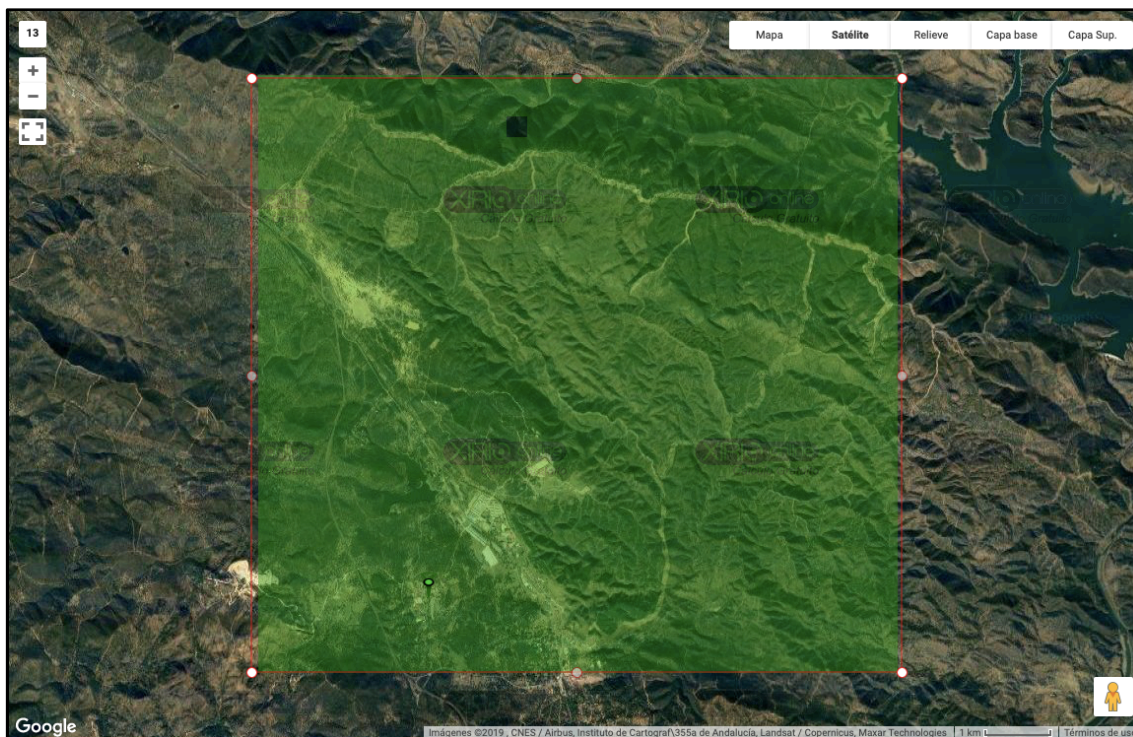
- Equipo: RF-5800H-MP
  - Rango de frecuencias: 1,6 MHz a 29,999 MHz.
  - Potencia de salida: 5W.
  - Modulación: USB.
- Transmisor: Juego de antena látigo OE-505
  - Margen de frecuencia: 1,6 MHz a 59,999 MHz.
  - Radiación: Omnidireccional.
  - Polarización: Horizontal.
  - Altura: 3,1 metros.
- Receptor: Juego de antena látigo OE-505
  - Margen de frecuencia: 1,6 MHz a 59,999 MHz.
  - Radiación: Omnidireccional.
  - Polarización: Vertical.
  - Altura: 3,1 metros.

El método de cálculo utilizado ha sido: Rec. UIT-R P.533. El manual de Xirio Online lo define de la siguiente manera: *“Método empírico de predicción de frecuencias disponibles, de niveles de la señal y de la fiabilidad prevista para los sistemas con modulación analógica y digital en ondas decamétricas [8]”*.

En el Apéndice B viene reflejado en más detalle en qué consiste el método de cálculo Rec. UIT-R P.533.

La Figura 2-3 nos muestra el resultado del estudio a baja resolución de la modelización HF. La razón de haber elegido hacerlo solo en baja calidad es que no se necesita de precisión debido a que dentro del CMT de Cerro Muriano el programa solo muestra un mismo nivel de cobertura.





**Figura 2-3. Cartografía baja calidad HF**

A priori, se puede plantear que un mapa de cobertura de un campo de maniobras, con un resultado de buena transmisión a lo largo y ancho del mismo es debido a un error en la modelización. Sin embargo, teniendo en cuenta que se ha realizado considerando la banda HF no es tan extraño, ya que esta banda se encuentra entre un margen de 3 a 30 MHz, conocidas también como ondas decamétricas (10 a 100 metros), que son capaces de franquear obstáculos como altas cotas y sierras, incluso un alto volumen de vegetación. Debido a su gran longitud de onda no sufren en gran medida la absorción por obstáculos como los mencionados con anterioridad. La debilidad de esta banda reside en el comportamiento de las capas de la ionosfera. A pesar de esto, como se ha mencionado con anterioridad, en las distancias que se ha comprobado el enlace, todas ellas mucho menores a 100 kilómetros, predomina la onda tierra y por ello, en este caso concreto, no había dependencia con respecto al estado de la ionosfera.

El personal experimentado de la Compañía de Transmisiones, ha podido corroborar la modelización, ya que siempre tienen muy buenos resultado utilizando los medios HF en la zona.

### ***Cartografía de cobertura en la banda VHF con Xirio Online***

A continuación, se muestran los parámetros más significativos utilizados en la herramienta de “Cobertura” en el caso de la banda VHF:

- Equipo: PR4GE F@stnet
  - Banda de frecuencia: 30 a 87,975 MHz.
  - Separación entre portadoras: 25 KHz.
  - Potencia portátil: 5W.



- Transmisión: Antena HC 30/76
  - Margen de frecuencia: 30 MHz a 76 MHz.
  - Radiación: Omnidireccional.
  - Polarización: Vertical.
  - Altura: 12 metros.
- Recepción: Antena ANT-210
  - Margen de frecuencia: 30 MHz a 87,975 MHz.
  - Radiación: Omnidireccional.
  - Polarización: Vertical.
  - Altura: 1,5 metros.

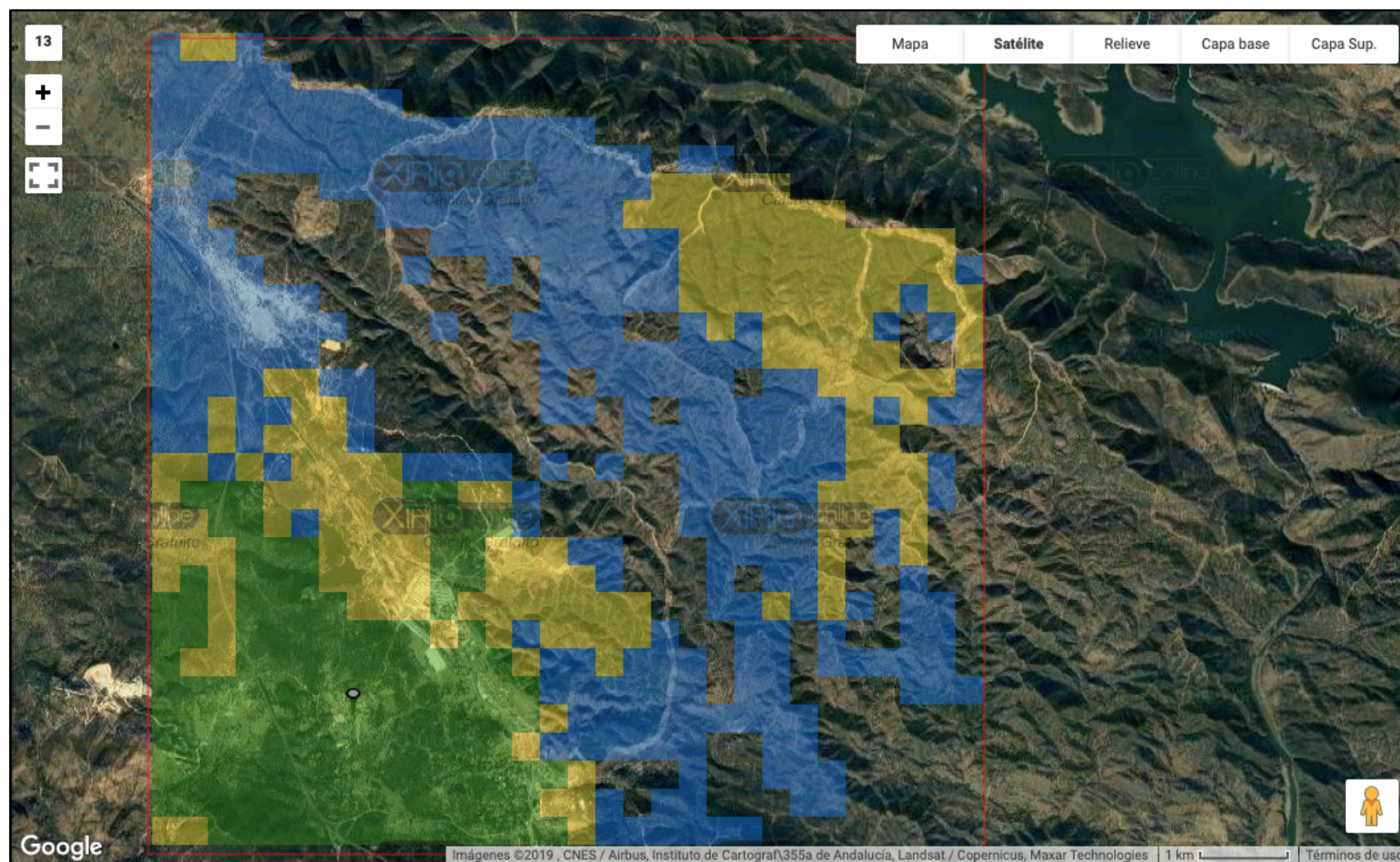
La cartografía se ha realizado tanto en baja resolución (Figura 2-4) como en alta resolución (Figura 2-5). Esto se ha comprobado para ver si merece la pena invertir en los mapas de cobertura generados por Xirio Online. A continuación, se muestra en la Tabla 2-1 las diferencias entre los dos tipos de resoluciones.

**Tabla 2-1. Comparación tipos de resoluciones**

	<b>Alta resolución</b>	<b>Baja resolución</b>
<b>Pago</b>	24,70 €	Gratuito
<b>Limitaciones</b>	Ninguna	Nº de capas de cartografía y nº de estudios al día
<b>Resolución</b>	100 metros	600 metros
<b>Descarga de resultados en equipo local</b>	Sí	No
<b>Uso recomendado</b>	Cartografía de precisión	Cartografía orientativa

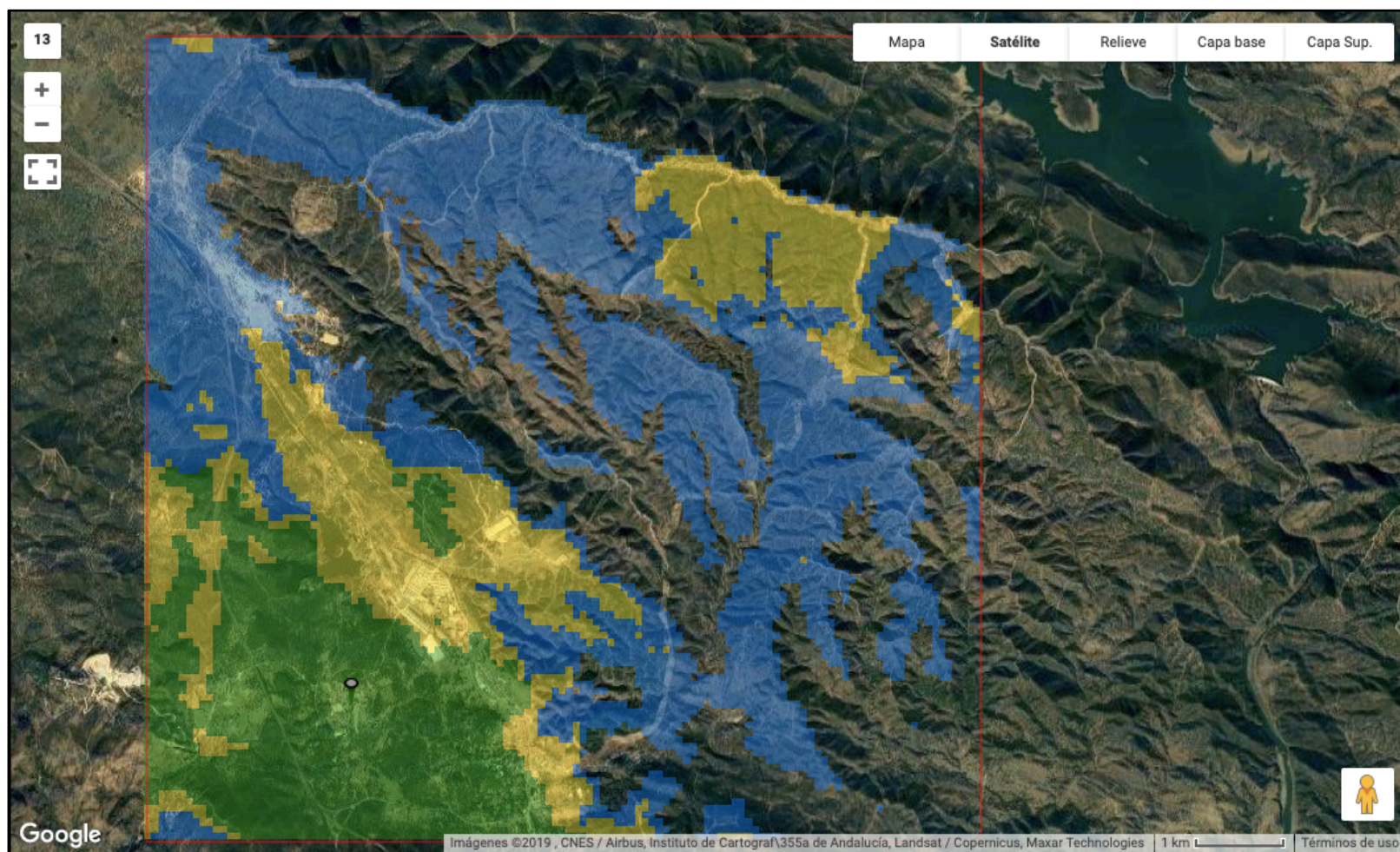
El significado de los colores elegidos son los siguientes:

- Verde: -51 a -79 dBm
  - Descripción: cobertura buena (recepción fuerte y clara)
- Amarillo: -80 a -95 dBm
  - Descripción: cobertura media (recepción buena e inteligible)
- Azul: -96 a -104 dBm
  - Descripción: cobertura baja (recepción débil e inteligible)
- Incoloro: -105 a -115 dBm
  - Descripción: cobertura muy baja (recepción muy débil con interferencias)



**Figura 2-4. Cartografía baja calidad VHF**





**Figura 2-5. Cartografía alta calidad VHF**

El método de cálculo utilizado ha sido: Deygout. El manual de Xirio Online lo define de la siguiente manera: *“Método determinístico basado en difracción. Válido para frecuencias mayores de 30 MHz. Empleado en todos los servicios radioeléctricos en entornos rurales y mixtos siempre que se disponga de cartografía media o alta resolución [8]”*.

En el Apéndice B viene reflejado en qué consiste el método de cálculo Deygout.

Con respecto a la cartografía en VHF, cabe destacar que con los alcances de PR4GE F@stnet expuestos en sus características técnicas, se abarca la gran mayoría del CMT<sup>9</sup> de Cerro Muriano. Los cálculos realizados en Xirio Online presentan similitudes con los datos teóricos de alcance, en condiciones idóneas de climatología y terreno, ofertados por los diferentes manuales consultados, puesto que no indican la existencia de zonas fuera de cobertura total.

Sobre el tema de baja o alta resolución, merece la pena comprar el estudio de alta calidad ya que es mucho más preciso. En este caso el estudio a baja resolución en VHF puede llevar a engaño ya que en la parte este parece que hay más cobertura media que baja cuando en el estudio de alta calidad se muestra lo contrario. Como este proyecto cuenta con una fase práctica de corroboración de la cobertura, a priori, no ocurre nada. El problema vendría cuando no se pudiera realizar una comprobación y hubiera que desplegar los medios CIS con los resultados obtenidos. En ese caso sí sería conveniente obtener la versión de alta resolución.

<sup>9</sup> Perímetro CMT Cerro Muriano: 30,7 Km; Área: 37,3 km<sup>2</sup>



## Capítulo 3. Validación de resultados y mejora de la cartografía

En este capítulo se detalla cómo se ha llevado a cabo la comprobación de los enlaces en las bandas de HF y VHF del CMT de Cerro Muriano de manera práctica y, tras la comparación de los niveles de cobertura pronosticados por la modelización y los obtenidos de forma empírica en la zona, se presentan los resultados finales de la cartografía de cobertura radioeléctrica en las bandas de HF y VHF del CMT de Cerro Muriano.

Con los medios y personal proporcionados por la Compañía de Transmisiones, se ha realizado la comprobación de la cobertura de un itinerario (Figura 3-1) de puntos (las coordenadas precisas se pueden consultar en el Apéndice C) del CMT de Cerro Muriano. El itinerario ha sido elegido en función de zonas estratégicas en el CMT y zonas en las que, según la cartografía de Xirio Online, cambia la calidad de la cobertura, es decir, zonas limítrofes. Por ejemplo, de una zona amarilla (recepción buena e inteligible) a una zona azul (recepción débil e inteligible).

En un principio se contaba con una semana completa de mediciones en el CMT de Cerro Muriano para, una vez obtenida el nivel de cobertura de los puntos del itinerario marcado, comprobar el radio, a partir del cual se retoma la señal, de aquellos puntos en los que no se había enlazado. Estos se encuentran marcados en rojo en la Figura 3-4. Finalmente, este tiempo se vio reducido en dos días, debido a la disponibilidad del material y personal, para realizar el itinerario completo, no pudiendo comprobar el radio de los puntos de no cobertura del itinerario.

Con un total de 24 puntos se ha corroborado gran parte de la cobertura obtenida mediante la modelización en el CMT de Cerro Muriano, excepto en la “Zona de caída de proyectiles”, que tienen prohibida la entrada por razones de seguridad. A continuación, se citan los motivos que han proporcionado la elección de puntos en el terreno:

- Zonas de gran importancia por la existencia de zonas como: campos de tiro de arma larga, asentamientos de morteros, campos de explosivos, zona de lanzamiento de granadas y asentamiento de piezas de Artillería de Campaña (ACA): puntos 3, 4, 5, 11, 12, 17, 18 y 20 en la Figura 3-1.
- Asentamientos de puestos de mando: puntos 1, 2, 19 y 21.
- Perímetro más lejano y puertas de entrada/salida del CMT: puntos 6, 7, 8, 9, 22 y 23.
- Vaguadas más pronunciadas del CMT y zonas donde, por las condiciones topográficas, se sospecha que no existe cobertura, aunque la cartografía realizada por Xirio Online muestra que sí que la hay en la banda de VHF: puntos 10, 13, 14, 15, 16 y 24.



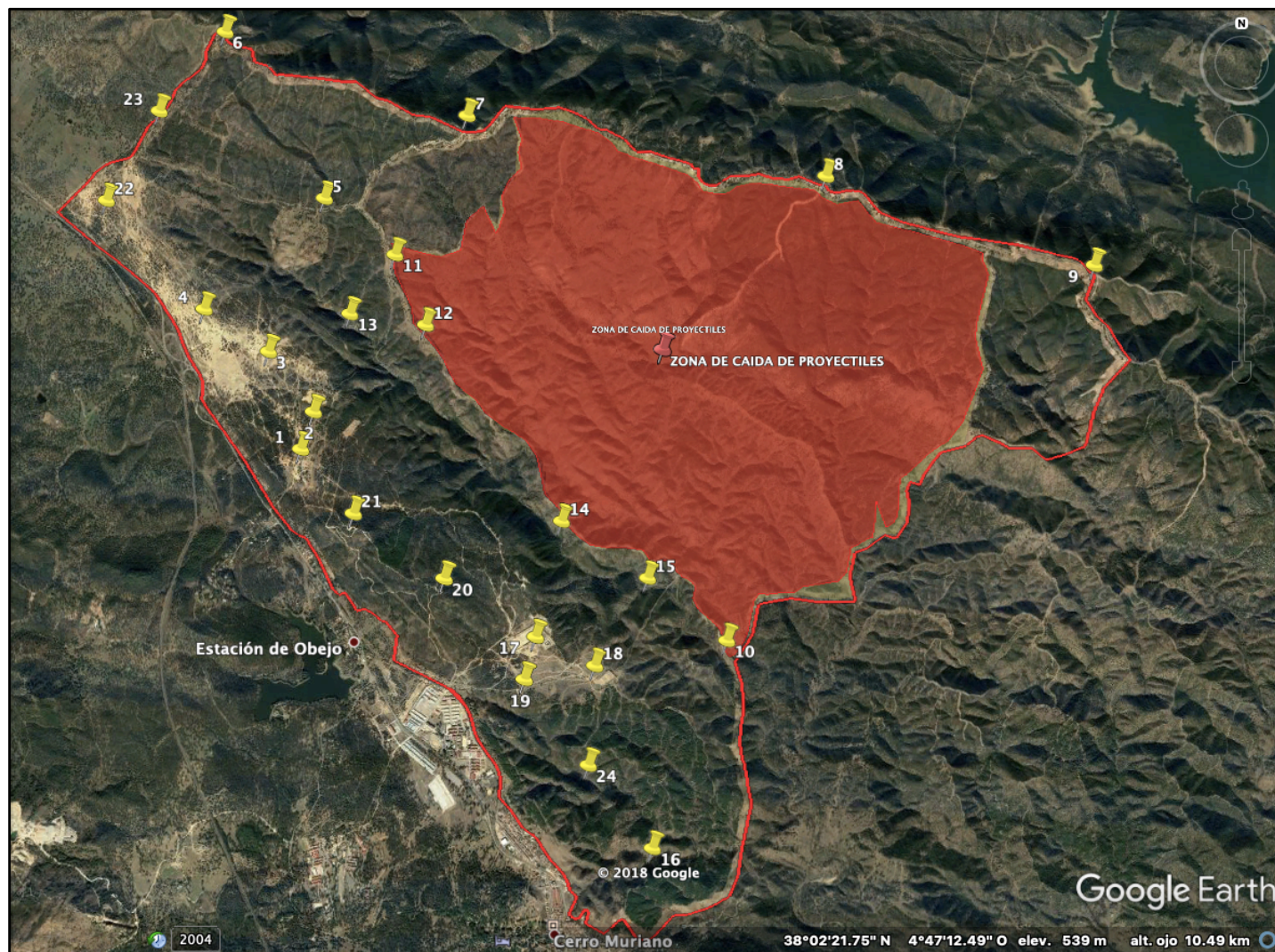


Figura 3-1. Itinerario CMT Cerro Muriano

Para el estudio HF, además de comprobar el enlace, se ha realizado un LQA en cada uno de los puntos del itinerario. A continuación, en la Tabla 3-1 se muestran los resultados del Score. Como mostraron los resultados de Xirio Online el enlace en HF ha sido satisfactorio en todos los puntos seleccionados en el terreno. En ninguno de los puntos se detectaron interferencias ni ruidos en el enlace, la transmisión era fuerte y clara en todo el itinerario. Se ha marcado el punto con *Score* más alto en verde y más bajo en azul. A pesar de que la diferencia entre el *Score* más alto y el más bajo es de un valor de 30, el modo 3G destaca, como ya se hizo mención, por la calidad de su enlace a pesar de un SNR bajo.

**Tabla 3-1. Resultados Scores para HF**

Puntos	Score	Puntos	Score
1	75	13	60
2	75	14	58
3	70	15	56
4	70	16	58
5	53	17	80
6	67	18	80
7	69	19	80
8	65	20	83
9	66	21	78
10	56	22	67
11	53	23	65
12	53	24	60

No es de extrañar que el punto con Score más alto sea el 20, ya que se trata de un punto estratégico en el CMT de Cerro Muriano. Siendo uno de los puntos más elevados de la zona, se utiliza como puesto de vigilancia contra incendios. Además, es el sitio más utilizado para colocar un repetidor, dado los problemas que se producen en la banda de VHF. Los puntos 5, 11 y 12, por el contrario, tienen la puntuación más baja, a pesar de no ser de los puntos más lejanos, tienen un score muy bajo con respecto al punto número 20. No obstante, la recepción y transmisión no daba ningún problema.

Con respecto al estudio en VHF, el resultado obtenido con Xirio Online junto con el itinerario quedaría reflejado como en la Figura 3-2.





Figura 3-2. Resultado Xirio Online con respecto al itinerario

Autor: DAC. Cristina Díaz García

Las mediciones de la cobertura de VHF no han sido tan satisfactorias como en la banda de HF, ya que el enlace se ha perdido en varias zonas del CMT de Cerro Muriano. Se han encontrado varias diferencias con respecto al resultado de Xirio Online. En concreto, en los puntos 3, 5, 11, 13, 14, 15, 16 y 24 no hay correspondencia con el nivel de señal esperado.

Con un total de ocho errores sobre veinticuatro puntos se puede pensar que son bastantes a la hora de pagar por el estudio, pero en realidad, tres de estos errores (puntos 3, 5 y 11) no son considerados como perjudiciales puesto que se encontraban en la zona limítrofe entre una cobertura baja y muy baja. Además, el cambio del estudio a la práctica no ha sido a peor. Simplemente, ha pasado de una recepción muy débil con interferencias a una recepción débil e inteligible.

En cambio, los errores más llamativos son en los puntos 13, 14, 15, 16 y 24. En estos puntos junto con el número 10 se asumía que no existía cobertura. Esto era sobre todo por las características del terreno, al ser este una vaguada muy pronunciada. Empero, el punto 10 resultó ser fiel al resultado de Xirio Online. Cabe destacar que como los puntos 13, 14 y 15 se encuentran unidos por la misma vaguada, se hizo un recorrido a pie por la misma, para comprobar si en algún punto habría la posibilidad de enlazar, pero no la hubo.

Para mostrar de manera explícita las distinciones entre los resultados del software y la realidad. En la Figura 3-3 se presenta una matriz de confusión.

Una matriz de confusión muestra la comparación entre los resultados pronosticados, representados en las columnas y los resultados reales, representados en las filas. De esta forma la matriz nos muestra cuándo el resultado pronosticado coincide con respecto al real o cuando se produce una desviación, y viceversa. De esta manera, la diagonal principal de la matriz son los resultados pronosticados de forma correcta [10].

Existen dos tipos de errores en esta matriz [11]:

- Errores de omisión: correspondientes a puntos que en el campo presentaban un nivel de cobertura pero que no ha sido clasificada de esa forma por el modelo.
- Errores de comisión: correspondientes a puntos que han sido clasificados con un nivel de cobertura que no concuerda con la realidad.

En la matriz de confusión, las letras hacen referencia a:

- a: cobertura buena
- b: cobertura media
- c: cobertura baja
- d: cobertura muy baja
- e: sin cobertura

Clasificación	a	b	c	d	e	Total	Precisión del productor (%)	Error de Omisión (%)
a	1	0	0	0	0	1	100,0	0,0
b	0	6	0	0	0	6	100,0	0,0
c	0	0	8	3	0	11	72,7	27,3
d	0	0	0	1	0	1	100,0	0,0
e	0	0	2	3	0	5	0,0	100,0
Total	1	6	10	7	0	24	74,5	25,5
Precisión del usuario (%)	100,0	100,0	80,0	14,3	0,0	58,9	66,7	
Error de Comisión (%)	0,0	0,0	20,0	85,7	100,0	41,1		

**Figura 3-3. Matriz de confusión**

La matriz de confusión nos muestra que Xirio Online ha reconocido todos los puntos donde la cobertura era buena y media, es decir, letras a y b respectivamente. Empero, no ha pronosticado ninguno de los cinco puntos donde no había cobertura (letra e), asumiendo dos de ellos como cobertura baja y tres de ellos como cobertura muy baja, letras c y d respectivamente. Cabe destacar que de los siete puntos que Xirio consideraba como cobertura muy baja (punto d), tres se encontraban en una zona limítrofe, como se ha mencionado con anterioridad. Con respecto a los puntos con un nivel de cobertura pronosticado como baja (letra c), Xirio Online ha acertado ocho de ellos.

Mediante la matriz de confusión se puede concluir que el simulador de Xirio Online ofrece un 66,7 % con respecto al itinerario de puntos realizado.

### 3.1. Cartografía de cobertura final en las bandas de HF y VHF

Se puede concluir que la cartografía de cobertura en la banda de HF del CMT de Cerro Muriano es un reflejo del resultado proporcionado por Xirio Online (Figura 2-3), sin modificación alguna.

Con respecto a la banda de VHF, la cartografía de cobertura es el resultado de la combinación teórica, por parte de Xirio Online, y las mediciones prácticas. Para ello, se le ha añadido al resultado de Xirio Online una marca en color rojo de los puntos en los que no había cobertura junto con la ruta andada entre los puntos 13, 14 y 15. A continuación, en la Figura 3-4 se muestra el resultado final.



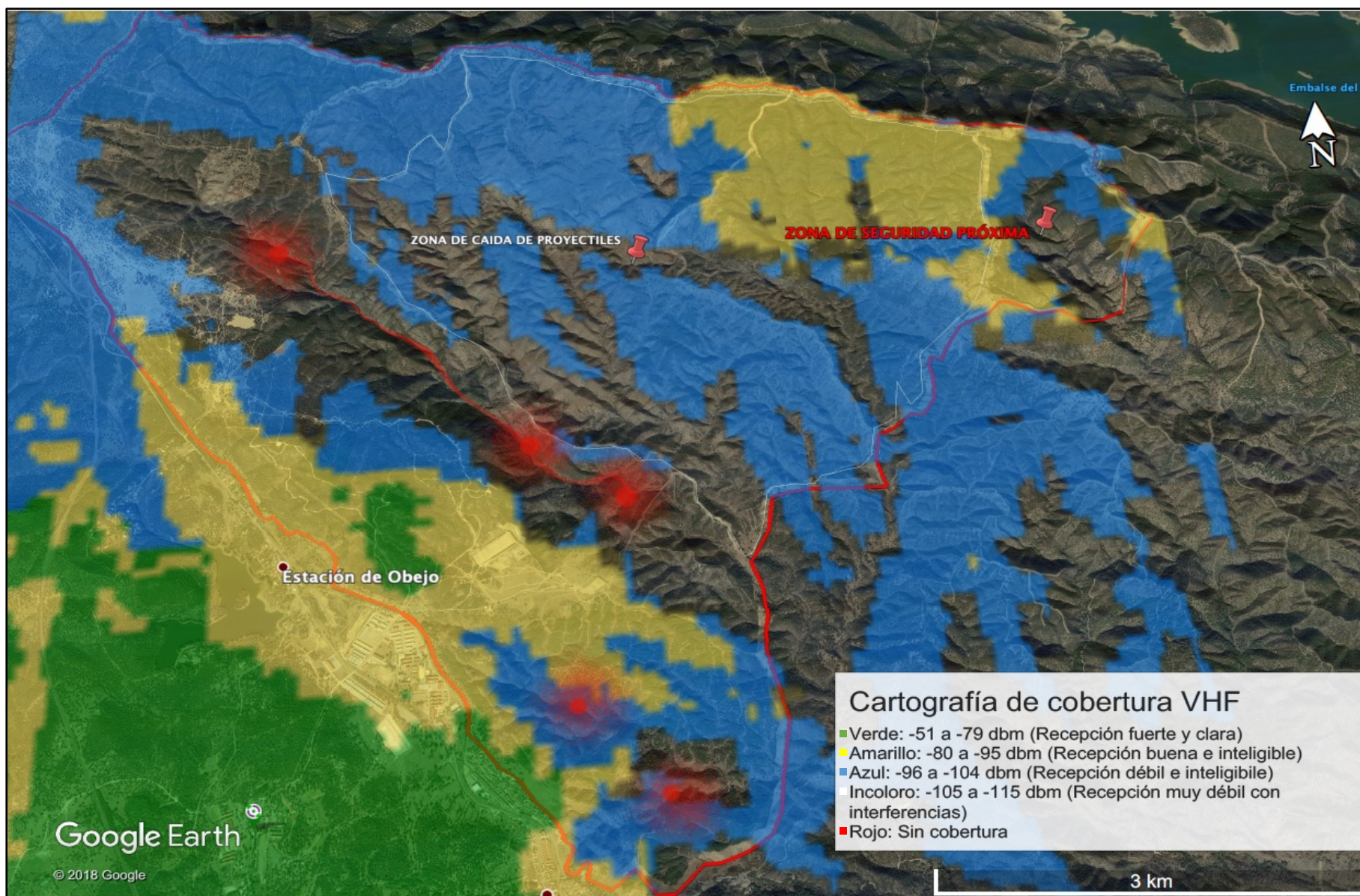


Figura 3-4. Cartografía de cobertura VHF final



## Capítulo 4. Conclusiones

A continuación, se exponen las conclusiones obtenidas el proyecto y una serie de líneas futuras surgidas a lo largo del mismo, para la mejora de los resultados obtenidos.

### 4.1. Conclusiones del proyecto

A pesar de las limitaciones de material y personal, que han reducido el número de mediciones en el CMT de Cerro Muriano, el objetivo principal de este trabajo, que consistía en la cartografía de cobertura en las bandas de HF y VHF del CMT de Cerro Muriano, ha sido cubierto satisfactoriamente. A la BRI Guzmán el Bueno X se le han proporcionado tres copias en formato analógico y una en digital del resultado de la cartografía final obtenida.

El fundamento de este proyecto ha residido en el software para generar la cartografía y la importancia de realizar este paso previo al estudio práctico sobre el terreno, para no realizar una búsqueda a ciegas en el CMT de Cerro Muriano y saber de antemano la cobertura en los puntos importantes en la zona desde el punto de vista de la realización de maniobras.

El software utilizado, en este caso Xirio Online, se puede calificar como confiable en base a los resultados de la matriz de confusión con un 66.7% de resultados pronosticados de manera correcta.

### 4.2. Líneas futuras

A lo largo del proyecto se han planteado una serie de mejoras que no han podido ser ejecutadas por falta de tiempo y medios disponibles.

A continuación, se citan las mejoras planteadas:

- Este proyecto se ha acotado a la realización de un mapa de cobertura radioeléctrica teórico con el simulador de Xirio Online, para posteriormente corroborar los resultados y la fiabilidad de este. Comprobar el proyecto realizado con otro software diferente a Xirio Online y por ende ver su fiabilidad abriría un frente más amplio de cara a tener varios softwares entre los que elegir a la hora de realizar la modelización de la creación de cartografía de cobertura.
- Las mediciones tomadas en el CMT de Cerro Muriano se han realizado con los radioteléfonos RF-5800H-MP y PR4GE F@stnet. Para barrer otro nuevo frente se podría probar la realización de mapas de cobertura radioeléctrica con medios distintos e incluso en otras bandas de frecuencias.

- La zona estudiada ha sido el área del CMT de Cerro Muriano. Se podrían realizar estudios a lo largo de los distintos CMT de los acuartelamientos de España para, finalmente, almacenarlos todos en la Biblioteca Virtual de Defensa y que todo el personal militar tenga acceso a ellos. De esta manera, a la hora de desplegar en un CMT distinto al habitual se agilizaría el planeamiento del despliegue de los medios CIS. Esta base de datos podría ser complementada con los distintos emplazamientos de despliegue en el territorio internacional que las FAS abarcan hoy día.



## Referencias

- [1] Mando de Adiestramiento y Doctrina. Departamento de Técnica Militar, *Sistemas de Transmisión. Radiocomunicación Vol I*, 2019.
- [2] Nato Standardization Agency, *Estándares Técnicos para un Sistema Automático de Control de Radio para los Enlaces de Comunicaciones de HF*, vol. 4538, February. 2009.
- [3] Harris Corporation, *Radio HF Táctica Avanzada RF-5800H-MP*. Nueva York.
- [4] Departamento de Instrucción y Adiestramiento Específico de Transmisiones, *Red Radio Combate*, 2019.
- [5] A. González García, *Propagación de Radio*. Hoyo de Manzanares, 1989.
- [6] Esri, « Mapas inteligentes para todos con la plataforma ArcGIS». [En línea]. Disponible en: <https://www.esri.es/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [7] Link Planner, « Quickly Design Networks | Cambium Networks». [En línea]. Disponible en: <https://www.cambiumnetworks.com/products/software/linkplanner/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [8] Aptica, «Manual XIRIO». [En línea]. Disponible en: <https://www.xirio-online.com/help/es/index.htm>. [Accedido: 24-sep-2019].
- [9] Centro Geográfico del Ejército de Tierra, *Manual de Usuario de la Carta Digital V7.0*. 2013.
- [10] P. Recuero de los Santos, «La matriz de confusión». [En línea]. Disponible en: <https://empresas.blogthinkbig.com/ml-a-tu-alcance-matriz-confusion/>. [Accedido: 23-oct-2019].
- [11] J. Ronald Eastman, *Manual de Idrisi*. 17. Ciudad de Córdoba, Argentina: Clark University, 2012.
- [12] Desconocido, «¿Qué es la relación señal/ruido y por qué es importante?» [En línea]. Disponible en: <https://tecnonautas.net/que-es-la-relacion-senal-ruido-y-por-que-es-importante/>. [Accedido: 04-oct-2019].
- [13] J. I. Andreotti, «Consultor de Telecomunicaciones y Electricidad (CTE): ¿Qué es el BER (Bit Error Rate)?» [En línea]. Disponible en: [http://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate\\_21.html](http://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate_21.html). [Accedido: 04-oct-2019].



# APÉNDICES

## Apéndice A. Frecuencias para HF asignadas a la BRI X

Tabla A-1. Frecuencias para HF asignadas a la BRI X

<b>Frecuencias HF</b>
2 242000
4 940000
7 779000
10 515000
10 350000
14 437000
18 303000
20 169000
23 482000

## Apéndice B. Métodos de cálculo

### B.1. Línea de vista

#### DESARROLLO

Como se ha mencionado previamente, el modelo LOS requiere que la visibilidad entre transmisor y receptor sea completa y libre de obstáculos. Este análisis puede llevarse a cabo analizando el perfil del terreno a lo largo del cual se extiende el trayecto de propagación, en el cual debe verificarse que existe línea de vista directa entre ambos extremos del enlace.

Si el trayecto entre transmisor y receptor está bloqueado, se asume que el nivel de señal recibida es nulo. En caso contrario, la propagación en condiciones de espacio libre se calcula, de acuerdo con alguna de las expresiones de la Rec. UIT-R P.525-2 [1], como se indica a continuación. Todas ellas conducen a los mismos resultados.

#### Enlaces punto a área

La intensidad de campo,  $e$ , en un punto situado a una cierta distancia del transmisor, se calcula mediante la expresión:

$$e = \sqrt{30} \frac{\sqrt{p}}{d} \quad (1)$$

donde:

$e$ : intensidad de campo eficaz [V/m]

$p$ : potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) del transmisor en la dirección del punto considerado [W]

$d$ : distancia del transmisor al punto considerado [m]

La ecuación (1) puede expresarse en unidades logarítmicas dBu (dBμV/m) de la siguiente manera:

$$E(\text{dBu}) = 74,8 + P(\text{dBW}) - 20 \log d(\text{km}) \quad (2)$$

Figura B-1. Línea de vista (1)

**Enlaces punto a punto**

La pérdida de espacio libre,  $l_{bf}$ , es función de la frecuencia y la distancia del transmisor al punto de referencia (receptor), y viene dada por:

$$l_{bf} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

Esta ecuación puede expresarse en unidades logarítmicas de la siguiente manera:

$$L_{bf}(\text{dB}) = 32,45 + 20\log f(\text{MHz}) + 20\log d(\text{km}) \quad (4)$$

**Figura B-2. Línea de vista (2)**

## B.2. Rec. UIT-R P.533

### DESARROLLO

El método de predicción que se explica en la Recomendación consta de tres partes. En la primera se evalúa la disponibilidad de frecuencias para el enlace, calculando la MUF (frecuencia máxima utilizable) básica de cada uno de los modos de propagación disponibles, la MUF básica del trayecto, que será la mayor de las anteriores, y la probabilidad de que la frecuencia de trabajo sea inferior a la MUF del trayecto, y por lo tanto pueda establecerse el circuito. Dadas las características de la propagación ionosférica, que depende del grado de ionización, diferente según el nivel de actividad solar y la iluminación de la ionosfera, en este cálculo se utilizan como datos de entrada el índice de actividad solar R12, también denominado número de Wolf o simplemente número de manchas solares, además de la fecha y hora.

En la segunda parte del procedimiento se calcula el valor mediano de la intensidad de campo de la onda ionosférica en el punto o puntos de recepción. Se aplica un modelo de propagación que, para cada uno de los modos posibles, calcula la pérdida básica de propagación combinando la pérdida básica en espacio libre para la distancia virtual recorrida, las pérdidas por reflexión en el suelo en los modos con más de un salto, y las pérdidas por diferentes fenómenos de absorción en la ionosfera. A partir de la intensidad de campo se calcula la potencia recibida por cada uno de los modos, y la potencia total como suma de las anteriores. En esta etapa del cálculo son necesarios los datos de los equipos que conforman el sistema, en concreto la potencia de transmisión y las ganancias y diagramas de radiación de las antenas transmisora y receptora.

En la tercera parte se evalúa la calidad del enlace, comenzando por una evaluación de la relación señal a ruido (S/N) mediana mensual. En la banda de HF el ruido dominante es el que capta la antena del exterior, representado por un factor de ruido de antena  $F_a$ , que combina el ruido atmosférico (el principal en la parte baja de la banda), el ruido artificial (dependiente del entorno) y otras fuentes como ruido térmico y ruido cósmico. El usuario debe indicar aquí el entorno para el cálculo del ruido artificial, de entre las opciones: "ciudad", "residencial", "rural", "rural tranquilo", "tranquilo" y "ruidoso".

Se aplica a continuación un modelo log-normal de variabilidad de la relación S/N, que permite calcular la probabilidad de superar el valor umbral especificado. La fiabilidad básica del circuito analógico se calcula de esta manera, y se compara con el valor objetivo de fiabilidad (%) que debe suministrar el usuario como parámetro del receptor.

Para calcular la fiabilidad de los circuitos digitales, además de la relación S/N requerida, es necesario utilizar los siguientes parámetros de recepción, que se solicitan como datos de entrada al usuario:

Ventana de tiempo,  $T_w$  (ms): Intervalo de tiempo dentro del cual los modos de la señal contribuyen a la calidad de funcionamiento del sistema y fuera del cual provocan la reducción de dicha calidad.

Ventana de frecuencia,  $F_w$  (Hz): Intervalo de frecuencia dentro del cual los modos de la señal contribuyen a la calidad de funcionamiento del sistema y fuera del cual provocan la reducción de dicha calidad.

Relación de amplitudes,  $A$  (dB): Máxima relación entre la intensidad del modo dominante y la de un modo subdominante, que sólo afectará a la calidad de funcionamiento del sistema si llega con un retardo de tiempo superior a  $T_w$  o una dispersión de frecuencia mayor que  $F_w$ . Los modos cuya intensidad de campo sea inferior a la del modo dominante en más de  $A$  dB se considera que no provocan distorsión aunque estén fuera de la ventana de tiempo o de la de frecuencia.

Figura B-3. Rec. UIT-R P.533

### B.3. Deygout

#### DESARROLLO

En el primer paso se identifica el obstáculo principal en el trayecto, aquel para el que la variable de difracción, denominada  $V_p$  en este caso, toma el valor más alto. Se calculan las pérdidas por difracción  $J(V_p)$  que provoca la presencia de este obstáculo en el trayecto total.

Si el obstáculo bloquea el rayo ( $V_p > 0$ ), se definen dos subtrayectos, entre los dos extremos del trayecto principal y el obstáculo. Para cada uno de ellos se identifica el obstáculo principal, con variable de difracción  $V_t$  y  $V_r$ , calculando a continuación las pérdidas por difracción que produce cada uno de estos obstáculos,  $J(V_p)$  y  $J(V_r)$ , en el subtrayecto en que está ubicado.

Si alguno de estos dos obstáculos secundarios bloquea el rayo ( $V_{t,r} > 0$ ) en el subtrayecto, se utiliza como referencia para definir dos nuevos subtrayectos de forma similar al paso anterior. El proceso continúa de manera recursiva hasta que no existe ningún obstáculo que bloquee el rayo en ninguno de los subtrayectos resultantes. Las pérdidas que producen los obstáculos que interceptan la primera zona de Fresnel, sin llegar a bloquear el rayo, dentro del mismo subtrayecto, se suman entre sí (método EMP).

Figura B-4. Deygout

## Apéndice C. Coordenadas

Tabla C-2. Coordenadas

Puntos	Latitud	Longitud	UTM X (ETRS89 Huso 30 N)	UTM Y (ETRS89 Huso 30 N)
1	38° 2'26.38"N	4°47'49.01"O	342313,7	4211850,5
2	38° 2'37.35"N	4°47'44.72"O	342424,8	4212186,6
3	38° 2'55.10"N	4°48'1.84"O	342018,1	4212741,8
4	38° 3'7.62"N	4°48'26.03"O	341436	4213139,2
5	38° 3'40.89"N	4°47'42.23"O	342523,3	4214144
6	38° 4'30.05"N	4°48'19.55"O	341643,3	4215676,9
7	38° 4'5.09"N	4°46'48.56"O	343845,6	4214864,8
8	38° 3'46.30"N	4°44'34.62"O	347098,6	4214223,7
9	38° 3'20.13"N	4°42'54.98"O	349512	4213371,8
10	38° 1'30.55"N	4°45'11.54"O	346120	4210056,3
11	38° 3'23.97"N	4°47'15.48"O	343165,2	4213609,9
12	38° 3'3.12"N	4°47'3.81"O	343437,3	4212961,7
13	38° 3'6.80"N	4°47'32.65"O	342736,5	4213088,7
14	38° 2'5.55"N	4°46'13.14"O	344638,6	4211163,6
15	38° 1'48.84"N	4°45'40.97"O	345413,1	4210633,6
16	38° 0'31.04"N	4°45'39.31"O	345408,1	4208234,8
17	38° 1'32.04"N	4°46'22.11"O	344400,2	4210134,9
18	38° 1'23.76"N	4°46'0.35"O	344925,9	4209869,5
19	38° 1'19.83"N	4°46'26.16"O	344294,2	4209760,4
20	38° 1'48.93"N	4°46'55.04"O	343607,2	4210670,8
21	38° 2'7.59"N	4°47'28.57"O	342800,8	4211261,7
22	38° 3'36.44"N	4°48'53.42"O	340785,7	4214040,5
23	38° 4'6.98"N	4°48'44.69"O	341016,8	4214977,8
24	38° 0'54.81"N	4°46'2.83"O	344848,5	4208978,3