



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis SIG y cartografía temática de la zona de entrenamiento  
“Ponte Caldelas” de la BRIMAR*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Fernando Royo Rubio

**DIRECTORES:** Mercedes Solla Carracelas

**CURSO ACADÉMICO:** 2019-2020

Universida<sub>de</sub>Vigo







# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis SIG y cartografía temática de la zona de entrenamiento  
“Ponte Caldelas” de la BRIMAR*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Infantería de Marina

UniversidadeVigo



## **RESUMEN**

En este Trabajo Fin de Grado se lleva a cabo un análisis del terreno mediante herramientas SIG de la zona de entrenamiento de Ponte Caldelas, utilizada por la Compañía de Alumnos de Infantería de Marina (IM) de la Escuela Naval Militar (ENM) para realizar diferentes tipos de ejercicios orientados a su instrucción y adiestramiento. En primer lugar, se expondrá el concepto de los SIG y se explicará su funcionamiento y las diferentes capacidades que aportan tanto en el mundo civil como el militar. Centrándose en el ámbito castrense, se aclarará al lector la forma que emplean las planas o estados mayores de las unidades para realizar el estudio del terreno, encuadrado en el proceso de planeamiento de cualquier operación militar.

El análisis SIG se lleva a cabo mediante un software libre (gvSIG), atendiendo a los diferentes aspectos del terreno que pueden ser o no influyentes en la conducción y consecución de una operación militar (hidrografía, relieve, obras artificiales, vegetación, etc.). En este proceso de estudio se han utilizado una variedad de geoprocesos. Como aplicación se han planteado tres casos prácticos correspondientes a tres ejercicios distintos llevados a cabo por la CIA de Alumnos de IM de la ENM: un ejercicio de colocación de puntos topográficos y dos rutas (Ruta X y Ruta Y) representando los itinerarios llevados a cabo por la fuerza en dos operaciones diferentes.

Finalmente, se han obtenido una serie de productos de información geográfica (bases de datos y cartografía temática) de relevancia que facilitarán la operabilidad a la hora de planear y llevar a cabo las salidas al campo en la zona de estudio seleccionada.

## **PALABRAS CLAVE**

SIG, Ponte Caldelas, terreno, BRIMAR, capa, geoproceso.



# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi tutora Mercedes Solla Carracelas por el esfuerzo y el trabajo prestados para la realización de este TFG. Sin su incansable paciencia a la hora de corregir, su tremenda disposición y adaptabilidad a las difíciles circunstancias vividas a lo largo de la realización del proyecto, no hubiera sido posible la finalización adecuada del trabajo.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mi familia por su incansable apoyo en estos cinco y largos años de escuela, sin ellos no hubiera sido posible poner un punto final a esta etapa de mi vida.

En tercer lugar, agradecer a mis compañeros de camareta: el AA Benavides Nieto, el AF Carrillo Rodríguez y el AA Cárdenas Antón por el buen ambiente de trabajo creado en nuestra pequeña casa y así contribuir a la realización de este trabajo.

Y, por último, acordarme de mi compañero y amigo el AF Luis Gibert Guitart, a quien dedico este trabajo y doy las gracias por enseñarnos una forma de vivir feliz, plantando buena cara a las adversidades y dando importancia a las cosas que verdaderamente importan en esta vida.



## CONTENIDO

Contenido .....	1
Índice de Figuras .....	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos .....	9
1.1 Motivación y Justificación .....	9
1.2 Objetivos .....	12
1.2.1 Objetivos Generales.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
2 Estado del arte .....	13
2.1 Sistemas de Información Geográfica .....	13
2.1.1 Concepto .....	13
2.1.2 Componentes de un SIG .....	13
2.1.3 Representación de datos: capas y modelos .....	14
2.1.4 Aplicaciones de un SIG .....	16
2.1.5 Ventajas frente a la Topografía Convencional .....	17
2.2 SIG Militar .....	18
2.3 Antecedentes .....	19
2.3.1 Historia de los SIG.....	19
2.3.2 Aplicaciones en Defensa: FAS y BRIMAR .....	21
2.4 Software de uso civil.....	23
2.4.1 Software existente.....	23
2.4.2 Software elegido .....	24
2.5 Evaluación del espacio de batalla .....	25
2.5.1 Delimitación del espacio de batalla .....	25
2.5.2 Estudio del terreno .....	26
2.5.3 Estudio de otros factores.....	32
3 Desarrollo del TFG.....	33
3.1 Zona de actuación .....	33
3.2 Datos Geográficos.....	35
3.2.1 Instituto Geográfico Nacional (IGN):.....	35
3.2.2 Xunta de Galicia: .....	39
3.2.3 Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.....	42
3.2.4 Web Map Service (WMS) .....	43

3.3 Geoprocesamientos utilizados y filtros .....	45
3.3.1 Filtro .....	45
3.3.2 Capa de eventos .....	45
3.3.3 Intersección.....	46
3.3.4 Recortar.....	46
3.3.5 Reproyectar.....	47
3.3.6 Área de Influencia.....	48
3.3.7 Envoltura Convexa .....	49
4 Resultados / Validación / Prueba.....	51
4.1 Análisis SIG .....	51
4.1.1 Puntos y zonas estratégicas.....	51
4.1.2 Obstáculos para la maniobra.....	58
4.2 Resultados .....	65
4.2.1 Base de datos .....	65
4.2.2 Cartografía temática.....	68
4.2.3 Exportación a otros visores.....	69
5 Conclusiones y líneas futuras .....	73
5.1 Conclusiones .....	73
5.2 Líneas Futuras .....	74
6 Bibliografía.....	75
Anexo I: Cartografía temática .....	79



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Interoperabilidad de la Armada [1].	9
Figura 2-1 Componentes de un sistema SIG [7].	14
Figura 2-2 Capas en un SIG [8].	15
Figura 2-3 Representación de Modelo Vectorial vs. Modelo <i>Ráster</i> [7].	16
Figura 2-4 Aplicaciones SIG [5].	17
Figura 2-5 Centro Geográfico del Ejército de Tierra [11].	19
Figura 2-6 Aspecto de un mapa generado por SYMAP [6].	20
Figura 2-7 Esquema temporal de la evolución de los SIG [6].	21
Figura 2-8 Utilización de la carta digital, con GPS, en un vehículo [17].	22
Figura 2-9 Equipo ACAF haciendo uso del TALOS [19].	22
Figura 2-10 Panorama actual de los software SIG [16].	24
Figura 2-11 Logo gvSIG [13].	24
Figura 2-12 Esquema ZII, ZRI, ZA [4].	25
Figura 2-13 Rango de pendientes con su correspondiente código de colores [4].	27
Figura 2-14 Criterio hidrográfico [4].	27
Figura 2-15 Criterio del suelo [4].	28
Figura 2-16 Criterio de cobertura vegetal [4].	28
Figura 2-17 Criterio de densidad vegetal [4].	28
Figura 2-18 Criterio de obras artificiales [4].	29
Figura 2-19 Ejemplo de clasificación del terreno según su viabilidad para la fuerza operativa [4].	30
Figura 2-20 Criterio de solape [4].	30
Figura 2-21 Ejemplo de matriz de decisión en cuanto a las diferentes avenidas según sus factores más influyentes [4].	31
Figura 3-1 Inserción de la capa de ayuntamientos seleccionando los pertenecientes a la Provincia de Pontevedra.	33
Figura 3-2 Zona de acción.	34
Figura 3-3 Capas asociadas a los puntos topográficos y rutas llevadas a cabo por la CIA de Alumnos.	35
Figura 3-4 Centro de descargas del IGN [27].	35
Figura 3-5 <i>Corine Land Cover</i> de Pontevedra y Vigo [28].	36
Figura 3-6 Ejemplo de capa SIOSE [29].	37
Figura 3-7 Visor online de la capa CartoCiudad sobre una ortofoto [30].	37
Figura 3-8 Provincias de Galicia en gvSIG.	38
Figura 3-9 Resolución en MDT02 vs. MDT05.	38
Figura 3-10 Portal de descargas de la Xunta de Galicia [31].	39

Figura 3-11 Núcleos de población de Galicia en gvSIG. ....	39
Figura 3-12 Aeródromos de Galicia en gvSIG. ....	40
Figura 3-13 Carreteras de la Comunidad Autónoma de Galicia. ....	40
Figura 3-14 Red Natura 2000 y ZEC de Galicia [32]. ....	41
Figura 3-15 Ríos y embalses de Galicia en gvSIG. ....	41
Figura 3-16 FFCC AVE y estaciones en Galicia. ....	42
Figura 3-17 Portal de Descargas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [25]. ....	42
Figura 3-18 Inventario Forestal insertado en gvSIG. ....	43
Figura 3-19 PNOA insertado en gvSIG con zona de estudio superpuesta. ....	43
Figura 3-20 WMS de Geología insertado en gvSIG. ....	44
Figura 3-21 Sede electrónica del catastro [34]. ....	44
Figura 3-22 Selección de los helipuertos de Pontevedra mediante la herramienta de filtro. ....	45
Figura 3-23 Geoproceso de Intersección. ....	46
Figura 3-24 Geoproceso de Recortar. ....	47
Figura 3-25 Geoprocesamiento de Reproyectar. ....	48
Figura 3-26 Geoproceso de Área de influencia. ....	49
Figura 3-27 Geoproceso de Envoltura Convexa. ....	49
Figura 4-1 Localización del embalse de Eiras en ZA. ....	52
Figura 4-2 Buffer de las rutas X e Y. ....	52
Figura 4-3 Curvas de nivel para las rutas X e Y. ....	53
Figura 4-4 Litología de la ZA. ....	53
Figura 4-5 Usos del suelo en las rutas X e Y. ....	54
Figura 4-6 Tipos de bosque en las rutas X e Y. ....	55
Figura 4-7 Aeródromo próximo a la Ruta X. ....	56
Figura 4-8 Aeródromo próximo a la Ruta Y. ....	56
Figura 4-9 Vías aptas para el apoyo logístico durante las operaciones X e Y. ....	57
Figura 4-10 FFCC AVE en ZA. ....	58
Figura 4-11 Cruce de ríos a lo largo de las rutas X e Y. ....	59
Figura 4-12 ZEC influyente en las rutas X e Y. ....	59
Figura 4-13 ZEC en zona de ejercicios topográficos. ....	60
Figura 4-14 Densidad de vegetación en las rutas X e Y. ....	60
Figura 4-15 Densidad de vegetación en recorridos topográficos. ....	61
Figura 4-16 Cruce de las rutas X e Y con diferentes vías de comunicación. ....	62
Figura 4-17 Principales vías de comunicación en la zona de ejercicios topográficos. ....	62
Figura 4-18 Núcleos de población críticos en las rutas X e Y. ....	63
Figura 4-19 Núcleos de población críticos en la zona de ejercicios topográficos. ....	64

Figura 4-20 Catastro en las inmediaciones de las rutas X e Y. ....	64
Figura 4-21 Enlace a información catastral.....	65
Figura 4-22 Cruces de ríos en la ruta X visualizados en <i>Google Earth</i> . ....	69
Figura 4-23 Cruce de ríos en la ruta X visualizados en <i>Google Maps</i> . ....	70
Figura 4-24 Cruce de ríos en la ruta X visualizados en Iberpix 4. ....	71



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Base de datos. ....	66
Tabla 2 Relación de puntos topográficos. ....	67
Tabla 3 Intersecciones de las rutas con ríos. ....	68



## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Motivación y Justificación

La fuerza operativa de la Armada la conforman todas las unidades pertenecientes a la flota. La cohesión e integración de dichas unidades es fundamental para que las misiones a llevar a cabo lleguen a cumplirse de una manera satisfactoria. La flota la componen unidades de todo tipo que operan en las tres dimensiones espaciales como, por ejemplo: en tierra, la infantería de marina con su BRIMAR (Brigada de Infantería de Marina) formando el puño ofensivo de la Armada; en mar, el buque insignia de la Armada española el portaaviones Juan Carlos I y su escuadrilla de escoltas formada por las fragatas F-80 o F-100; y en aire, la décima escuadrilla con sus helicópteros Seahawk-60B.

Factor primordial para la Armada es que todos sus vectores, tanto aire-tierra como de desembarco, alcancen un grado de interoperabilidad alto para llegar a ser una fuerza eficaz en el teatro de operaciones actual. Como es previsible, todos estos medios requieren un análisis del espectro tridimensional antes de llevar a cabo ninguna operación. La preparación del espacio de batalla forma parte del proceso de planeamiento, y la manera de cómo hacerlo debe ser coherente y estandarizada y, de esta forma, dar un paso importante para garantizar la interoperabilidad de las unidades.



Figura 1-1 Interoperabilidad de la Armada [1].

El conocimiento exhaustivo del terreno proporciona ventajas significativas sobre el enemigo, ya que hará posible el uso de este con el fin de facilitar la maniobra de las fuerzas propias y dificultar la del enemigo. Las fuerzas armadas actuales, debido a los avances tecnológicos y la evolución de los conflictos armados, transportan y mantienen un número elevado de medios, tanto de transporte de tropas como de aprovisionamiento y servicios de combate que precisan corredores de movilidad y espacios aptos para su empleo e instalación. De esta forma, el terreno es capaz de proporcionar cierta sostenibilidad a una unidad militar a lo largo de un despliegue u operación mediante fuentes naturales de agua, luz e incluso viento.

Desde el punto de vista militar existen ciertos aspectos del terreno a considerar a la hora de realizar el planeamiento y la conducción de una operación militar. De hecho, es el paso número uno que debe de dar cualquier estado mayor enfrentándose a la elaboración de una línea de acción con el fin de cumplir la misión asignada. Dentro del estudio de los factores de la situación se encuentra el terreno. Su estudio contempla dos de las tres dimensiones espaciales (excepcionando el espacio aéreo), la vegetación, los cursos y masas de agua, la naturaleza del suelo, las obras artificiales y, por último, los aspectos militares del terreno, los cuales aparecen reflejados en la doctrina castrense tanto nacional como internacional estandarizada a nivel OTAN (Organización del Tratado Atlántico Norte), y que son: campos de tiro y observación, ocultación, protección, obstáculos, avenidas de aproximación y corredores de movilidad [2].

Los campos de tiro y observación son los espacios utilizados por las tropas en la dirección orientada al enemigo para hacer uso eficaz de sus armas u obtener información sobre el enemigo para realizar labores de reconocimiento. En cuanto a la ocultación, como su propio nombre indica, irá encaminada a negar al enemigo la obtención de información sobre su posición. La protección es un aspecto que, además de la que poseen las unidades propias (blindajes, cascos y chalecos balísticos, uniformidad, etc.), puede ser proporcionada por accidentes naturales del terreno dependiendo de la misión (alturas, formaciones rocosas, desfiladeros, etc.), y por ello siempre será conveniente tener a estos agentes en cuenta a la hora del planeamiento. Algo parecido ocurre con los obstáculos en el campo de batalla. Estos pueden estar contruidos por fuerzas enemigas, como medida de contra movilidad hacia el otro bando, o pueden estar materializados por la madre naturaleza y será tarea de las tropas utilizarlos a su favor. Por último, en cuanto a las avenidas de aproximación y los corredores de movilidad, reseñar que son las principales de vías de comunicación entre puntos de interés en el terreno, y son mayoritariamente utilizados por unidades motorizadas o mecanizadas transportadas en vehículos pesados.

Además, en el caso particular de las operaciones anfibias, es de especial relevancia estudiar el litoral para determinar posibles sectores de desembarco. Para que una operación anfibia, conocida como la de mayor dificultad en el entorno militar, se lleve a cabo es necesario seleccionar la playa o el conjunto de estas por las que la FD (Fuerza de Desembarco) tocará tierra. El estudio del gradiente, fondo marino y obstáculos en la costa materializarán este análisis del litoral requerido con el fin de determinar el sector de desembarco óptimo.

En el proceso de planeamiento estandarizado a nivel OTAN, publicado a nivel nacional en las referencias de Armada “A-RIM-101 Método de Planeamiento de las Operaciones. Nivel Táctico.” [3] y del Ejército de Tierra “OR5-008 Método de Planeamiento e las Operaciones. Nivel Táctico.” [2], la integración del estudio del terreno y la meteorología que afectará son factores fundamentales a la hora de planear cualquier operación a llevar a cabo. Contribuirá al desarrollo del proceso INTE (Integración Terreno-Enemigo), el cual informará al CIDI (Centro de Integración y Difusión de Inteligencia) con el fin de permitir la evaluación del espacio de batalla por las diferentes secciones de planeamiento a cargo de ello: inteligencia y operaciones. De esta forma será posible para un Estado Mayor/Plana Mayor asesorar al mando y contribuir al éxito de la misión [4].

Con el fin de realizar el proceso de obtención de información geoespacial de manera eficiente, y estar en disposición de gestionarla adecuadamente para apoyar la toma de decisiones, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) nos brinda la mejor de las posibilidades en base al trabajo



y tiempo invertidos en el análisis del espacio de batalla. Los SIG facilitarán la gestión de todo tipo de información y formatos requeridos para la realización de un estudio en detalle del terreno en donde se dispondrá a operar una fuerza militar. La implementación de estos sistemas geoespaciales en los procesos de planeamiento de las operaciones militares supone un paso hacia la eficiencia y la productividad.

La BRIMAR lleva a cabo maniobras tanto nacionales como internacionales en el marco de la instrucción y adiestramiento (I+A) de sus componentes en el amplio abanico de escenarios que exige el teatro de operaciones actual. La fuerza debe de estar alistada y preparada para operar en todo tipo de terreno con condiciones climatológicas adversas, como por ejemplo el árido desierto o la fría montaña, debido al carácter expedicionario de la unidad. Es inevitable repartir a las diferentes unidades de la infantería de marina por el territorio nacional para que lleven a cabo las actividades I+A acordes con sus especialidades, es decir, será necesario mandar a cada unidad al campo de maniobras o zona habilitada para sus prácticas acorde con las actividades I+A a realizar. Por ejemplo, el GAD (Grupo de Artillería de Desembarco) tendrá que acudir a campos de maniobra habilitados para el tiro con piezas de artillería, como es el CMT (Campo de Maniobras y Tiro) San Gregorio, localizado en el campo aragonés de Zaragoza, mientras que el BDMZ (Batallón de Desembarco Mecanizado) acudirá a zonas aptas para la utilización de sus Pirañas (vehículos anfibios de transporte de tropas) cercanas al litoral como puede ser el CMT de la Sierra del Retín en Cádiz.

La Compañía de Alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar (ENM) es un caso particular dentro de las actividades I+A de las unidades actuales. Esta unidad la forman los futuros oficiales del cuerpo y el objetivo principal de ella es que los oficiales alumnos se preparen de la manera más adecuada posible a la amplia gama de ámbitos a los que se van a tener que enfrentar liderando las unidades de la infantería de marina más antigua del mundo. Por lo que esta unidad en particular operará de acuerdo con este objetivo primordial cuando sea posible, reseñando que su zona de adiestramiento principal es la diversa atmósfera gallega de las Rías Baixas, ofreciendo un mar de posibilidades para realizar todo tipo de operaciones convencionales y específicas de las misiones abiertas actualmente para la Infantería de Marina (IM).

Desde el punto de vista de la IM, y más concretamente de la BRIMAR, la necesidad de poseer una base de datos geográfica con los aspectos generales y militares del terreno es de una gran importancia debido a su carácter expedicionario. En el presente TFG (Trabajo Fin de Grado) se llevará a cabo un análisis SIG de la zona de entrenamiento de Ponte Caldelas (Pontevedra, Galicia), en dónde los alumnos de IM de la ENM realizan un gran número de prácticas de campo englobadas en su actual plan de estudios. Producto de este estudio se elaborará la cartografía temática de dicha zona.

Llegados a este punto se puede comprobar que queda justificado y motivado este Trabajo Fin de Grado debido a la importancia que acarrea el estudio del terreno para un futuro oficial del Cuerpo de Infantería de Marina. El estudio del terreno nunca cesa en el plano táctico de una operación militar. Se trata de un aspecto del planeamiento que todo oficial involucrado en este complicado proceso estudiará a todos los niveles, tanto si es el oficial más moderno a quien se le asignarían cometidos de campo, como si es el más antiguo dentro de una célula de planeamiento tomando decisiones estratégicas.

La utilización de los SIG, y su difusión entre los futuros oficiales, disparará la completa formación de estos hacia la excelencia y mejora continua. Actualmente, estos sistemas se utilizan en todas las operaciones militares en curso en las que las Fuerzas Armadas Españolas se encuentran involucradas y suponen una herramienta más que necesaria para poder realizar un análisis del terreno de una manera eficaz y eficiente.

## 1.2 Objetivos

### *1.2.1 Objetivos Generales*

Llevar a cabo un análisis terrenal de las zonas más frecuentadas por los Oficiales Alumnos de Infantería de Marina de la ENM (Escuela Naval Militar) en el municipio de Ponte Caldelas. Para ello se utilizarán Sistemas de Información Geográfica realizando un estudio atendiendo a aspectos de cobertura y usos del suelo, relieve, litología, hidrografía, comunicaciones...etc. con el fin de obtener conocimiento sobre los recursos presentes a lo largo de las extensiones de entrenamiento y las rutas realizadas por la fuerza.

Como resultado de este proceso surgirá la elaboración de la cartografía temática de dicha zona para contribuir a la programación y planeamiento de ejercicios por parte del Departamento 4º de la ENM. El profesorado se beneficiará debido a la posibilidad de planificar y seguir las maniobras ejecutadas desde una base de datos actualizadas y, por otra parte, también beneficiará a la formación de los futuros oficiales debido a la utilización de esta cartografía para el planeamiento de futuras operaciones.

### *1.2.2 Objetivos Específicos*

1. Dar a conocer el mundo de los SIG y sus capacidades que prestan en una amplia gama de sectores de diferente índole tanto civiles como militares.
2. Presentar en dónde y cómo se encuentra el mundo SIG en las FAS y cuál es la doctrina de referencia a nivel nacional sobre el estudio del terreno.
3. Proponer una serie de fuentes de confianza para la obtención de toda la información geográfica de la zona de estudio y posteriormente emplearla en el software con una correcta georreferenciación (Datum ETRS89).
4. Demostrar la utilidad que puede aportar el empleo del software elegido (gvSIG) en el proceso de preparación y planeamiento del terreno llevado a cabo por las unidades de IM y, más concretamente, por los alumnos de Infantería de Marina de la ENM para la realización de sus prácticas de campo.
5. Conseguir la exportación de productos obtenidos en el software utilizado a diferentes visores geográficos para obtener una perspectiva diferente y comprobar su compatibilidad.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Sistemas de Información Geográfica

#### 2.1.1 Concepto

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS en inglés) es una solución tecnológica que de manera visual nos permite capturar, analizar, gestionar e interpretar datos con una componente geográfica, y así descubrir relaciones o tendencias que ayudan a tomar mejores decisiones [5].

Se trata de una herramienta compuesta por un software, hardware y procedimientos con datos geoespaciales utilizada por todo tipo de sectores, organizaciones, empresas y administraciones públicas para la resolución de problemas de planificación territorial de diferente índole. Estos sistemas materializan un apoyo excepcional a la toma de decisiones. El manejo de grandes cantidades de información está a la orden del día en cualquier sector y, tratándose de datos georreferenciados, un SIG permitirá al usuario realizar consultas interactivas acerca de una gran variedad de datos como pueden ser: usos del suelo, curvas de nivel, límites de parcelas, redes hidrográficas, etc.

#### 2.1.2 Componentes de un SIG

Un SIG deberá estar correctamente organizado conteniendo los siguientes componentes, cada uno tan esencial como el anterior:

- Software: Soporte informático capaz de sostener toda la información georreferenciada de una manera eficiente. Aportan la capacidad de manipular y analizar los datos geoespaciales introducidos y generar un producto fiable para el usuario. Su correcta elección, dentro de la gran variedad que nos ofrece el mercado actual, es esencial para poder resolver el estudio de manera satisfactoria. Será necesario atender al número y tipo de funcionalidades, compatibilidad con otras aplicaciones, la documentación existente sobre el software, disposición de su entorno y el precio del soporte [6]. En un gran número de casos se necesita una combinación de varios de estos software para poder atender todas las necesidades del análisis objeto de estudio.
- Hardware: Soporte físico materializado por equipos computacionales y accesorios periféricos. Son capaces de almacenar la información importada y exportada del programa informático, habilitando al usuario a realizar las operaciones necesarias para obtener el producto requerido de estudio.
- Procedimientos: Consisten en la manipulación y análisis de los datos obtenidos mediante operaciones geoespaciales.

- Base de datos: Informatizada y georreferenciada. Posee todo tipo de variables que pueden relacionarse de maneras distintas dependiendo del objeto del estudio a llevar a cabo gracias a las dos características mencionadas anteriormente.  
Factor clave es que estos datos sean ricos, variados y bien estructurados, de manera que su utilización no resulte un impedimento para el correcto funcionamiento en la implementación del SIG. Para ello será necesario atender con especial atención a dos fases: la recopilación de datos de fuentes de gran diversidad (proveedores privados, organismos oficiales, etc.) y la preparación de estos datos, que atenderá a aspectos tales como la extensión geográfica, el formato, el modelo de datos y el sistema de coordenadas [6].
- Componente humano: Usuario y beneficiario del SIG. Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el sistema, siendo el motor de este. Su papel es esencial en la tarea de implementar y organizar los datos dentro del sistema y deben ser conscientes de todas las capacidades del SIG para hacer un uso eficiente del mismo.

Como hemos visto en la explicación anterior, un SIG deberá estar bien estructurado y cohesionado entre sus diferentes componentes para poder cumplir con la misión que se le asigne. Sus distintos elementos deben estar integrados y comunicados entre sí. Un SIG no es simplemente una herramienta materializada por una aplicación en un equipo informatizado, sino que es un ‘todo anidado’ trabajando para un fin último.



Figura 2-1 Componentes de un sistema SIG [7].

### 2.1.3 Representación de datos: capas y modelos

En este apartado se tratará de explicar cómo realiza un SIG la tarea de representar todos los datos importados en el software para habilitar su análisis y procesado. Estos conceptos son esenciales, cualquier usuario que se disponga a trabajar con un SIG necesitará comprender su estructura y relaciones entre ellos.

Los SIG materializan mapas digitales que contienen todo tipo de información. Estos incorporan una componente gráfica conteniendo los datos geográficos y una componente alfanumérica que contendrá los atributos o información temática del espacio geográfico en concreto. De esta forma los SIG son capaces de mostrar la información completa de cualquier punto del terreno.

Los SIG utilizan capas que contienen diferentes atributos o variables del terreno, las cuales se superponen entre sí (Figura 2-2). Las capas contienen todo tipo de información, desde altimetría e hidrografía hasta aeródromos o estaciones ferroviarias en la zona. Con el fin de obtener las relaciones

entre dichas capas mediante su superposición, estas deben estar convenientemente georreferenciadas a un mismo sistema de proyección cartográfica.

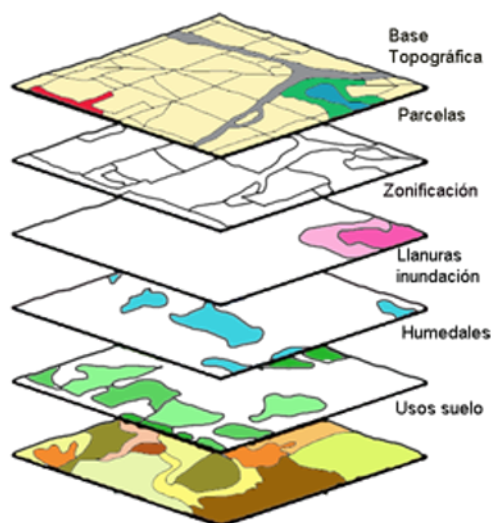


Figura 2-2 Capas en un SIG [8].

Existen diferentes maneras de representar la realidad en un Sistema de Información Geográfica. Las dos formas principales de plasmar la información en estos sistemas son: el modelo *ráster* y el modelo vectorial (Figura 2-3).

Un modelo SIG *ráster* divide el espacio geográfico en celdas, denominadas píxeles, con información, conformando así una malla a la cual se le añadirán diferentes capas para la introducción de la información temática. La variable que controlar en este modelo será el tamaño del píxel, que se corresponderá con la escala seleccionada. A menor tamaño de píxel, mayor resolución [6].

Por otro lado, el modelo vectorial no sigue una estructura tan sistemática. Este modelo representa los elementos espaciales mediante puntos, líneas y polígonos. Cada punto está representado por un solo par de coordenadas (x, y), la línea es un conjunto de puntos agregados, y el polígono es un conjunto de puntos unidos por líneas en el cual el punto inicial coincide con el final (área cerrada). En este modelo se pierde cierto grado de detalle al tener que representar la realidad mediante las tres formas geométricas explicadas anteriormente, por ejemplo, el perímetro de cualquier área por muy curvo que sea siempre estará formado por líneas rectas. De todas formas, el error de digitalización cometido es insignificante en comparación con la necesidad de obtención de estudios de terreno [6].

La principal ventaja del modelo vectorial es su gran capacidad de compresión de información, por lo cual ocupa menor tamaño en disco. Además, este tipo de archivo es más preciso a la hora de calcular superficies y distancias, y también permiten tener límites más precisos favoreciendo las relaciones topológicas y de proximidad entre elementos. Por ello, el modelo vectorial resulta ser la opción óptima cuando se trate de realizar un análisis entre unidades espaciales. Los modelos vectoriales también suponen la mejor elección cuando se trata de asignar atributos cuantitativos o cualitativos debido a que presentan una mayor facilidad de edición, ahora bien, son los modelos *ráster* los que admiten la incorporación de datos cuando se trata de imágenes satelitales.

El modelo *ráster* supone una solución sencilla y básica, pero poco compacta y presenta bastantes dificultades a la hora de operar con archivos muy pesados. Sin embargo, este tipo de archivos son capaces de representar tridimensionalmente la realidad de forma más fiable, ya que los de tipo vectorial tienen un carácter plano. Económicamente el modelo *ráster* posee un mayor coste debido a que su elaboración y obtención es más complicada, factor que hace que estos sean menos utilizados en el mercado. Gráficamente los modelos *ráster* representan mejor la realidad, por lo que la salida gráfica representa en mayor medida la realidad.

La elección de qué tipo de modelo utilizar dependerá de si la información topológica es importante para el estudio a realizar, es decir, si la topología es importante se utilizará un modelo vectorial y si no es así se utilizará el modelo *ráster*, puesto que será un proceso más rápido, sencillo y eficaz.

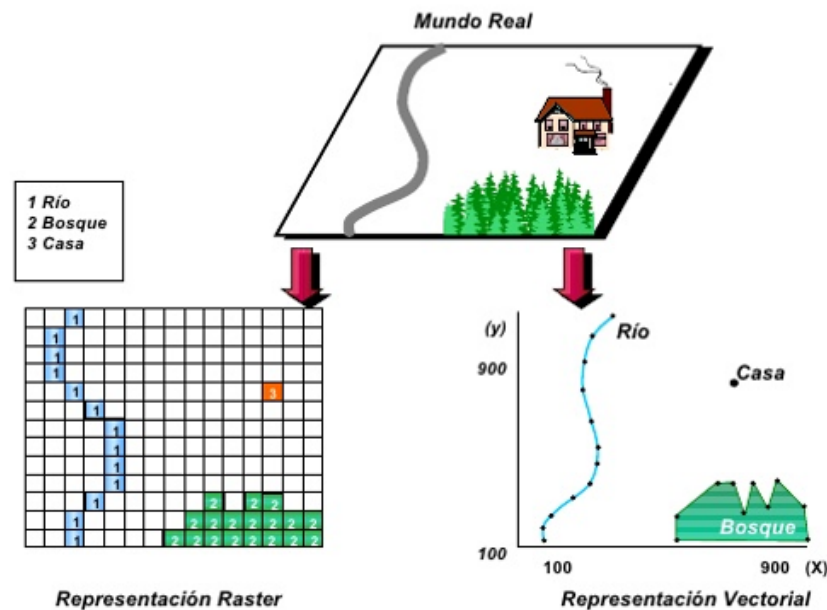


Figura 2-3 Representación de Modelo Vectorial vs. Modelo *Ráster* [7].

### 2.1.4 Aplicaciones de un SIG

Hoy en día los SIG son utilizados en una inmensa cantidad de sectores, llevando a cabo diferentes funciones y proporcionando así una serie de ventajas relacionadas con el procesado de información espacial y análisis territorial. Son muchas las industrias, empresas y administraciones públicas que han apostado por la incorporación de estos sistemas en su funcionamiento para obtener beneficios tanto para los clientes como para la propia asociación.

Un SIG proporciona una solución tecnológica accesible a todo tipo de usuario que permite capturar, analizar, gestionar e interpretar datos con una componente geográfica, y como resultado obtener relaciones o tendencias que faciliten la toma de decisiones. Estos “mapas inteligentes” ayudan a compartir información y procesarla para cualquier planeamiento del futuro.

Un claro ejemplo de la aplicación de un SIG en la administración pública es la introducción de esta herramienta en los Ayuntamientos, en donde se emplea para la gestión de diferentes servicios como son: el catastro (registro administrativo de inmobiliario), la red de abastecimiento o el transporte público.

Existen también diferentes aplicaciones en el ámbito de empresas de gran consumo, banca o seguros como, por ejemplo, los procesos de *business intelligence* para la realización de acciones de *geomarketing*, la apertura y cierre de oficinas o la búsqueda de bienes inmobiliarios con características similares. Además, las empresas de canal, desarrolladores, *start-ups*, y emprendedores también se suman a esta iniciativa del concepto SIG para el desarrollo de soluciones tecnológicas propias utilizando los mapas como base de su actividad [5].

Los organismos de defensa, emergencias y seguridad también se encuentran en un proceso de implementación del análisis SIG para llevar a cabo sus funciones de una manera más eficiente. Los SIG permiten la planificación de operaciones de seguridad, evacuación, extinción de incendios, gestión de catástrofes, etc. Por ejemplo, los servicios de emergencias del 112 se gestionan con tecnología SIG, y la coordinación de la seguridad en la última visita del Papa a España se planificó con un SIG [5].





Figura 2-4 Aplicaciones SIG [5].

Las aplicaciones anteriores no serían posibles sin las capacidades que nos brindan los SIG en el manejo y procesado de la información geográfica. En primer lugar, estos sistemas nos permiten georreferenciar los datos obtenidos en campo y registrarlos de manera que se vaya creando una base de datos. En segundo lugar, nos permite ordenar, editar, integrar y guardar la información temática en función del tipo de proyecto que se esté realizando y proceder a su recopilación para la integración del metadato. Finalmente, tienen la capacidad de procesar la información gestionada y representarla en mapas con su respectivo fichero y metadato.

### *2.1.5 Ventajas frente a la Topografía Convencional*

Los SIG presentan una serie de ventajas reseñables frente a las herramientas topográficas convencionales, los planos y mapas. La principal de estas virtudes que ofrecen los SIG es gestionar una cantidad significativa de datos y ser capaz de relacionarlos entre sí mediante diferentes procedimientos. La topografía convencional nos presenta una representación única en una zona de terreno como puede ser un mapa físico de España o un mapa topográfico de un municipio de Galicia a una determinada escala. Los SIG nos permiten atender todo tipo de variables y representar todo tipo de datos a la escala deseada. Por lo tanto, se podría decir que estos sistemas permiten un salto cualitativo y cuantitativo, sea cual sea el contexto sobre el que se apliquen.

Por otro lado, centrándonos en ámbitos y aspectos más particulares, se pueden hallar ventajas más específicas de los sistemas SIG detallados previamente. Por ejemplo, favorece la administración del territorio local. En comunidades autónomas como es Galicia, en zonas rurales en vías de despoblación pasan desapercibidos ciertos aspectos importantes como: titularidades de propiedades y servidumbres, infraestructuras realizadas para las captaciones de agua y su conducción a los asentamientos o empleo como regadío, y la localización de zonas con especiales valores patrimoniales, naturales o paisajísticos para la comunidad, entre otros. Todos estos datos pueden ser descargados de fuentes de administraciones públicas e importados en un SIG para su representación y conocimiento de todos. Además, la actualización de la información no sería una barrera difícil de flanquear, tal y como representa la publicación de cualquier plano topográfico, sino que el empleo digitalizado de la topografía en el SIG favorece el mantenimiento de una base de datos actualizada y su posterior publicación [9].

En otros ámbitos, como puede ser el sector empresarial, se pueden identificar numerosas ventajas relacionadas con este campo a la hora de implementar un SIG. En primer lugar, la utilización de un sistema de estas características incrementaría los ingresos debido a que aporta una eficiencia en la productividad mediante estudios de mercado en zonas geográficas y reduciría costes, ya que se evitarían ciertos costes de subcontratación para la elaboración cartográfica. En segundo lugar, se incrementaría el grado de cumplimiento normativo debido al conocimiento aportado por dicho sistema, y por lo tanto mejorar la satisfacción del cliente debido a la reducción del impacto ambiental que influiría positivamente en el bienestar y salud de la población y, afortunadamente, dar un paso hacia la excelencia.

Por último, la implementación de los SIG en las empresas facilitará la administración de estas mediante la generación de bases de datos producidas por este tipo de sistemas que tendrá como fin último, ya mencionado anteriormente, apoyar la toma de decisiones [10].

Otro ámbito por reseñar, en el cual los SIG brindan una serie de ventajas significativas, es el ya expuesto mundo militar, en el cual estos sistemas facilitan la elaboración de productos con el fin del estudio del terreno, englobado en el proceso de planeamiento. Estos sistemas permiten la actualización inmediata de los gráficos sobre los que se lleva a cabo la conducción de las unidades en el campo de batalla y, además, son capaces de almacenar y relacionar diferentes tipos de información asociada a las unidades con el terreno.

Considerando todo lo anteriormente expuesto, queda más que demostrado el beneficio que puede suponer la implementación de los Sistemas de Información Geográfica en diferentes ámbitos. Es cierto que algún inconveniente existe en este proceso de adaptación a estos sistemas digitalizados como puede ser la obtención de datos fiable y su posterior homogeneización y actualización. Ahora bien, nada que no se pueda afrontar con una adecuada especialización del personal que, con los tiempos que corren, no puede suponer una barrera para la actualización tecnológica en ciertos ámbitos, como el de la topografía que nos ocupa.

## **2.2 SIG Militar**

La unidad precursora de los SIG en las Fuerzas Armadas (FAS) es el Centro Geográfico del Ejército de Tierra (CEGET), que lleva más de doscientos años tratando de mantener al mundo castrense en primera línea en el ámbito de la información geográfica. La unidad ha sufrido diversos y numerosos cambios en cuanto a organización a lo largo de la historia, pero siempre ha mantenido similares funciones relacionadas todas ellas con el levantamiento topográfico de zonas de interés militar. A partir del primer año del siglo XXI es cuando finaliza la fase I de desarrollo del Sistema de Información Geográfico Militar (SIGMIL) y se difunde su primera versión. Basada en este SIGMIL se crea la aplicación SIG de uso militar Carta Digital [11]. Se ha invertido mucho esfuerzo en llevar a cabo las actualizaciones pertinentes de dicha aplicación con el fin de alcanzar una versión verdaderamente práctica y útil como es la 5.9, la cual se está utilizando actualmente en las unidades, que permite su uso, además de en escritorio, en dispositivos móviles tipo *smartphone* o *Tablet* con sistema operativo tipo Android. Esta versión más actualizada permite realizar un estudio cohesionado del terreno mediante una variedad de atributos de este para, finalmente, llegar a las conclusiones que apoyen la toma de decisiones de los comandantes de unidad [11].

La aplicación militar Carta Digital se está empleando actualmente en misiones en el exterior como son las llevadas a cabo en Irak o Mali, en las cuales fuerzas españolas están encargadas del adiestramiento de fuerzas y cuerpos de seguridad locales. Además de esta instrucción llevada a cabo en estos escenarios, es necesario crear un entorno seguro y estable para la realización de dichas actividades, por lo tanto, el estudio y análisis del terreno se convierte en un factor clave para proporcionar la protección necesaria a las tropas aliadas, conocida en el ámbito castrense con el término de *Force Protection*. Para llevar a cabo este cometido, implícito en la misión principal a cumplir en dichas misiones, el software Carta Digital está considerado la herramienta principal para realizar estudios combinados del terreno, enemigo y meteorología, que facilitará los productos necesarios para el planeamiento táctico y operacional de estas misiones internacionales en las que el Ministerio de Defensa se encuentra [11].

El SIGMIL además de permitir el desarrollo de Carta Digital ha contribuido al desarrollo y creación de otras aplicaciones de interés militar gracias a su base de datos cartográfica capaz de integrarse en cualquier sistema de información, de simulación o de armas de las Fuerzas Armadas.





Figura 2-5 Centro Geográfico del Ejército de Tierra [11].

## 2.3 Antecedentes

### 2.3.1 Historia de los SIG

Los orígenes de los Sistemas de Información Geográfica se remontan a la cartografía tradicional con la cual posee ciertas similitudes y diferencias, que ambas radican en la cantidad y calidad de gestión de datos que se pueden llevar a cabo con un sistema u otro.

El desarrollo de los SIG se puede dividir en cuatro etapas en las cuales podemos encontrar diferentes hitos que han contribuido de una manera u otra a los sistemas que disfrutamos hoy en día. La primera etapa fue la comprendida entre 1960 y 1970 dónde algunos valientes pioneros indagaron en los principios de estos sistemas para permitir el surgimiento de los SIG. De mediados de los setenta a principios de los ochenta esta tecnología experimentó un crecimiento exponencial debido a la incorporación de esta en agencias y organismos nacionales. La siguiente fase comenzó en 1982 hasta finales de la década de los ochenta, en la cual el hito a reseñar fue la introducción y la explotación de estos sistemas en el mercado comercial. Desde entonces, y hasta el día de hoy, se ha trabajado en la implementación de mejoras en los SIG para la operabilidad y practicidad por parte de los usuarios [12].

Uno de los valientes pioneros de la década de los sesenta fue Roger Tomlison que, con el apoyo del Departamento Federal de Energía y Recursos de Canadá, consiguió desarrollar el primer SIG denominado CGIS (*Canadian Geographical Information Systems*). Esta primera herramienta tenía como objetivo la gestión de datos del inventario geográfico canadiense y el análisis del territorio rural nacional [12].

El próximo avance en el ámbito geoespacial fue la aplicación SYMAP (*Synnagraphic Mapping Technique*) desarrollada por los estadounidenses del *Harvard Laboratory* que permitía la representación de la realidad mediante puntos, líneas y geometrías. Dicha herramienta era capaz de generar mapas como el mostrado en la Figura 2-6 en los cuales se combinaban números y letras, escala de grises e isolíneas [12].

El periodo comprendido entre los sesenta y los setenta se caracterizó por no existir una colaboración en las diferentes líneas de investigación y desarrollo llevadas a cabo por los principales actores americanos del *Harvard Laboratory* y ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), canadienses del CGIS y los ingleses del *Experimental Cartography Unit*. La estandarización y unidad en los sistemas SIG no surge hasta finales de la década de los setenta con la comercialización de estos sistemas para uso profesional y privado promulgado por ESRI, que se convertirá en referente de los SIG bajo licencia. La empresa fundada en 1969 por Jack Dangermond, integrante del propio *Harvard Laboratory*, hace méritos en la popularización y en la conversión del SIG en un elemento de consumo para situarse en lo

más alto del sector y mantener el liderato hasta día de hoy con su plataforma de tecnología geográfica llamada ArcGIS [6].



Figura 2-6 Aspecto de un mapa generado por SYMAP [6].

Con el paso de los años y el desarrollo en el ámbito geoespacial surgen nuevas empresas en el mercado, y a mediados de la década de los ochenta sistemas primerizos como CGIS dejan de poder estar presentes en la competición comercial. En 1985 aparece el primer SIG libre, GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*), desarrollado por el Ejército de Tierra estadounidense para la supervisión y gestión medioambiental de los territorios bajo la bota del Departamento de Defensa Norteamericano [12].

En la década de los noventa ESRI vuelve a la carga con su software de escritorio ArcView, compatible con Windows, que popularizó aún más estos sistemas de geoprocésamiento. Con la difusión de este software se estandarizó la utilización de los ficheros tipo *shapefile* (.shp) en los SIG [12].

Durante la década de los noventa los SIG reciben un impulso en el mundo de las administraciones públicas (gobiernos regionales, provinciales y ayuntamientos) y decrentan los costes de su uso extendiéndose más aún en la sociedad gracias a la aparición de software libre como gvSIG [13] y QGIS [14]. Poco a poco los SIG se van desarrollando y pasan de ser sistemas completos a plataformas adaptables sobre las que construir soluciones particulares, gracias a que los diferentes software ya contemplan la utilización de ambos modelos de representación expuestos anteriormente en este TFG, el *ráster* y el vectorial [12].

Actualmente, los SIG ya no sólo aparecen en el mundo profesional, sino que se dan en nuestra vida cotidiana. Hoy en día existen diferentes aplicaciones libres que acercan los SIG a usuarios no especializados, tales como Google Maps o Google Earth, que permiten acceder a información geográfica de toda clase.

En la siguiente figura se observa la línea cronológica seguida por la evolución de los SIG, frente a la de la tecnología, datos y técnicas de representación geoespacial.

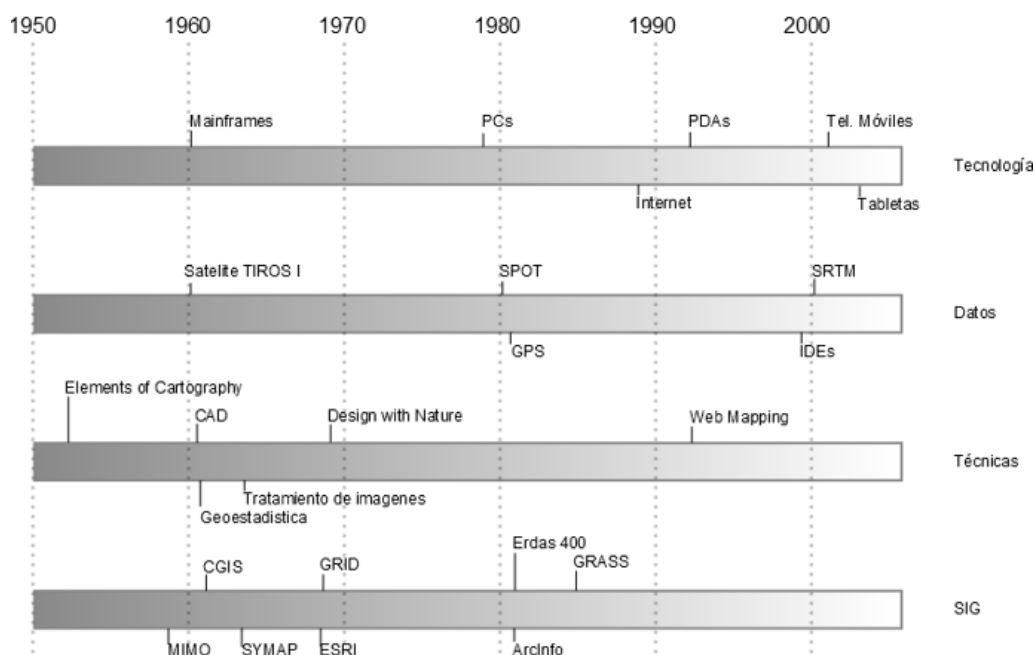


Figura 2-7 Esquema temporal de la evolución de los SIG [6].

### 2.3.2 Aplicaciones en Defensa: FAS y BRIMAR

En el ámbito castrense ya hemos visto que la incorporación de los SIG apoya robustamente la toma de decisiones. Por ello, las diferentes Fuerzas Armadas y Cuerpos de Seguridad de prácticamente todos los estados occidentales han invertido tiempo y dinero en implantar la utilización de estos sistemas a su día a día. Como ejemplo tenemos a países como Argentina y Chile en Sudamérica, por supuesto, Estados Unidos y Canadá, como principales pioneros en sus orígenes. En Oriente países como Japón y China manteniéndose al nivel occidental y, finalmente en Europa países como Reino Unido y España, en el cual nos centraremos particularmente a continuación.

En España, la multinacional ESRI se ha establecido como principal proveedor de estos servicios a los sectores de defensa, seguridad y emergencias. Prueba de ello es que, tras la catástrofe en Haití, los SIG de ESRI ayudaron a gestionar el desembarco de tropas españolas para labores humanitarias en el cual la BRIMAR tuvo un papel destacado como principal fuerza de desembarco [15].

Las aplicaciones SIG en las FAS españolas son variadas, y en los últimos años se han incrementado con el impulso de diferentes empresas que han incentivado el adoptar estos sistemas en el ámbito de la Defensa. La asociación gvSIG, compuesta por desarrolladores de tecnologías libres, asegura la total transferencia de conocimiento al Ministerio de Defensa, tal y como se puede comprobar en el portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa sostenido por la Secretaría de Estado de Defensa y la DGAM (Dirección General de Armamento y Material). Esta asociación posee actualmente seis áreas de actuación como son, algunas de ellas: “algoritmos de fusión de datos para la explotación de datos de sensores” o “el análisis de necesidades de información e inteligencia y planificación de misiones ISTAR (*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*)” [16].

Otra aplicación de los SIG a mencionar en defensa es la llevada a cabo en el CEGET (Centro Geográfico del Ejército de Tierra) con la elaboración del software Carta Digital mediante la actualización continua del SIGMIL (Sistema de Información Geográfica Militar): conjunto de librerías SIG en las que se basan otras aplicaciones del Ejército de Tierra [11]. Reseñar que este software se está empleando en la BRIMAR por la Compañía de Inteligencia perteneciente al Batallón de Cuartel General (BCG) de la Brigada.



Figura 2-8 Utilización de la carta digital, con GPS, en un vehículo [17].

La empresa *GMV Aerospace and Defence S.A.U.*, propulsora en ingeniería, desarrollo, integración y mantenimiento de sistemas para las fuerzas y cuerpos de defensa y seguridad, proporciona al Ejército de Tierra y a la Armada un sistema de mando y control denominado TALOS. Este sistema permite realizar la coordinación y ejecución del apoyo de fuegos proporcionado por la artillería de campaña, morteros, fuego naval de apoyo y el apoyo aéreo [18]. Hay que destacar que, en el ámbito de la BRIMAR, el GAD (Grupo de Artillería de Desembarco), unidad artillera, emplea este sistema para coordinar los fuegos de sus piezas de artillería de campaña: piezas Otto-Melara de 105 mm y Obuses M-109 A2. Además, los equipos ACAF (Adquisición y Coordinación de Apoyo de Fuegos), orgánicos del GAD, también hacen uso del sistema TALOS para sus funciones de controladores del espacio aéreo.



Figura 2-9 Equipo ACAF haciendo uso del TALOS [19].

Por último, las empresas Indra y Thales, ambas colaboradoras con el Ministerio de Defensa, desarrollaron un novedoso sistema de gestión del campo de batalla conocido como el BMS-Lince (*Battlefield Management System*). El sistema se nutre de la anterior base de datos producida por el Ejército de Tierra mencionada anteriormente, el SIGMIL. BMS-Lince ofrece un *display* del campo de batalla en una única pantalla en el interior del vehículo. Este se montó en los carros de combate Leopard 2E y vehículos Pizarro durante su despliegue en Letonia en 2017 para su comprobación y,

satisfactoriamente, otorgó las ventajas esperadas: la puesta en común de información recogida por sensores de las plataformas utilizadas (vehículos aéreos no tripulados, carros propios, vehículos, etc.), la mejora en la transmisión de órdenes y la coordinación con fuerzas aliadas. Por ello, finalmente se decidió incorporar el sistema en los 235 carros de combate Leopard y en un centenar de vehículos a mayores. El futuro del sistema reside en la incorporación de este en todos los vehículos del Ejército y, además, proporcionarlo a las unidades a pie en tabletas o en algún tipo de *smart-watch* [20].

## 2.4 Software de uso civil

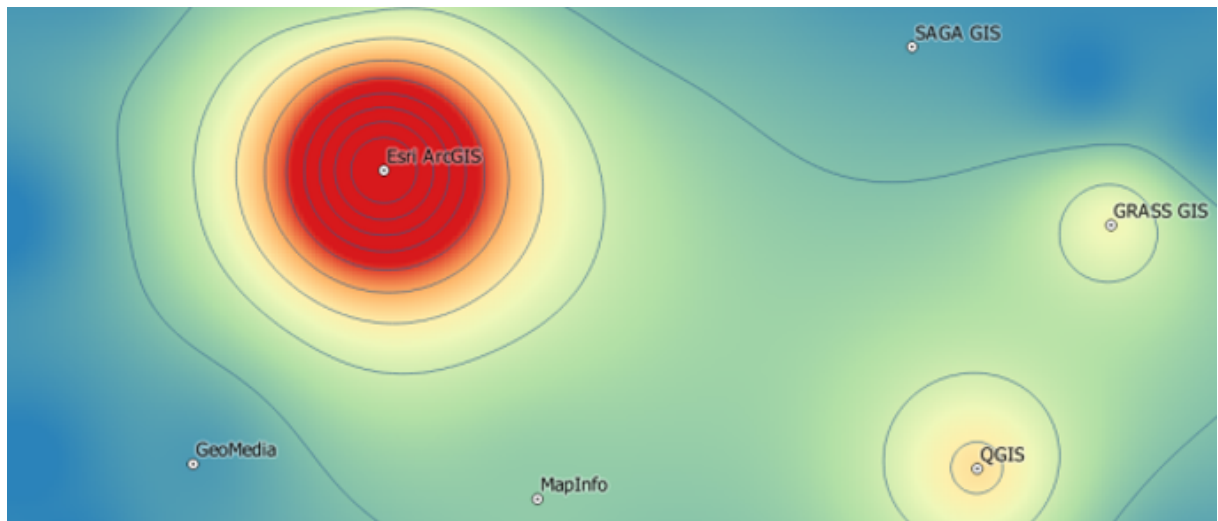
### 2.4.1 Software existente

En este apartado se presentan los diferentes software presentes en el mercado, los cuáles son capaces de relacionar la información geográfica con una amplia variedad de información, produciendo así un producto adecuado para el estudio de posibles variables. Las posibilidades que nos brinda el mercado actual son interminables, por lo que se mencionan las opciones tanto de código libre como las privadas más populares actualmente:

- ArcGIS Pro: Una de las herramientas más potentes presentes en el mercado actual, desarrollado por la empresa ESRI. Consigue un procesamiento de 64 bit y posee una integración 3D de gran calidad. De los pocos inconvenientes que presenta son de reseñar su alto coste de licencia y su necesidad de alto nivel de especialización [15].
- ArcGIS Desktop: Otro producto de la multinacional ESRI que se mantiene en lo más alto de la comercialización de este tipo de software. Posee una gran escalabilidad, geoprocésamiento, cartografía, base de datos y posibilidad de edición. Como factores desfavorables los usuarios citan su interoperabilidad, pues no es capaz de soportar todo tipo de formatos, sus diferentes licencias sólo permiten acceso a ciertas herramientas y su elevado coste [15].
- QGIS: Se establece como líder indiscutible de los software de licencia gratuita debido a su gran integración 3D, las posibilidades de edición que brinda al usuario y por sus diferentes *plugins* de análisis SIG. Por otro lado, presenta ciertas carencias en dos de sus puntos fuertes: no posee herramientas altamente especializadas de análisis y no posee una gran estabilidad para la visualización tridimensional [14].
- Hexagon Geomedia: Un gran competidor para la empresa en cabeza del sector de los software de pago, ESRI. Ofrece un rápido y práctico análisis territorial para el usuario con múltiples diseños y etiquetados de características. En contra se le puede achacar una pobre interoperabilidad y conectividad con bases de datos [21].
- MapInfo Professional: Software reclamado por negocios debido a su inteligencia de localización, característica que utiliza para gestionar la información sobre los posibles clientes de un servicio ofertado y catapultar las cifras de productividad. Supone una importante amenaza para ESRI en la comercialización de los SIG. Ciertamente es que no es compatible con un gran número de formatos SIG y posee un elevado coste de adquisición.
- gvSIG: Sistema desarrollado por la Comunidad Valenciana de licencia gratuita. Presenta una completa herramienta para usuarios de este tipo de sistemas de geoprocésamiento. Posee una aplicación para dispositivos móviles, capacidades de visualización 3D y una interfaz intuitiva y estable. Además, presenta potentes herramientas CAD (*Computer Aided Design*). Para desarrollar proyectos en España es una de las mejores opciones gratuitas que presenta el mercado. Sin embargo, para trabajos fuera de España presenta una importante deficiencia en documentación [13].
- GRASS GIS: Potente herramienta con licencia gratuita que permite un alto contenido de geoprocésamiento. Posee gran calidad en análisis de datos LiDAR (*Light Detection and Ranging*), imagen satelital y tridimensional. Por otro lado, presenta una difícil interfaz y poco vistosa para el usuario [22].



Se debe aclarar que la información y los datos de uso de los diferentes software han sido extraídos de fuentes de internet que analizan la opinión pública sobre estas herramientas [23] [24] [25]. En la imagen inferior se puede visualizar el gráfico de las principales plataformas SIG utilizadas mundialmente.



**Figura 2-10 Panorama actual de los software SIG [16].**

### 2.4.2 Software elegido

Para la realización de este TFG se utilizará uno de los software SIG anteriormente expuestos, el gvSIG. La elección de este software para este estudio está basada en la interoperabilidad de dicha aplicación y su licencia libre accesible para todo tipo de usuario. Concretamente, gvSIG se trata de un software integrador, capaz de trabajar con información de cualquier tipo u origen, tanto en formato *ráster* como vectorial, y presenta una arquitectura modular y un carácter multiplataforma [13]. Además, es compatible con formatos de otros programas populares como AutoCAD, MicroStation o ArcView, de acuerdo con los parámetros de la OGC (*Open Geospatial Consortium*), que regula los estándares abiertos de los SIG. Las capacidades que ofrece son precisas y variadas, y se centran en edición cartográfica, teledetección, morfometría, hidrología y diseño de impresión. Se debe indicar que existen varias versiones elaboradas de la aplicación debido a que se encuentra introducida en un continuo proceso de desarrollo y perfeccionamiento. Hay que añadir que existe una versión para su utilización en dispositivos móviles con sistema operativo Android, gvSIG Mobile [26].

Es importante mencionar también que el software cuenta con una amplia gama de manuales y tutoriales que facilitan su aprendizaje por parte de los usuarios.



**Figura 2-11 Logo gvSIG [13].**

## 2.5 Evaluación del espacio de batalla

El proceso de la evaluación del espacio de batalla está comprendido en el proceso INTE (Integración Terreno-Enemigo), definido en la doctrina nacional “I-RIM-202 INTE Integración Terreno-Enemigo” extraída de la publicación del Mando de Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra Español “OR7-018 Orientaciones. INTE Integración Terreno Enemigo y otros factores”, redactado para uso interno en las Fuerzas Armadas [4].

El proceso INTE, en el marco de la Alianza Atlántica, lo realizan las secciones de inteligencia (G-2/S-2) y operaciones (G-3/S-3) encuadradas en la plana o estado mayor de la unidad que, dependiendo de la entidad de esta, poseerá una u otro. Dentro de esta organización los responsables de su realización será el CIDI (Centro de Integración y Difusión de Inteligencia) que, con el fin de apoyar la toma de decisiones, elaborarán las líneas de acción del enemigo y analizarán el espacio de batalla [4].

El espacio de batalla comprende la totalidad dimensional del espacio en el cual un comandante de unidad debe aplicar su potencia de combate con el fin de cumplir la misión asignada. Esta zona incluye límites tanto en anchura y profundidad como en longitud y altura. Además, comprenderá el ámbito de la información, requiriendo así el control sobre el espectro electromagnético y el flujo de comunicaciones. Para evaluar este espacio de batalla será necesario la definición y análisis de ciertas dimensiones y factores influyentes en él, que se muestran a continuación.

El producto final de este proceso de evaluación del espacio de batalla es el SAC (Superponible de Avenidas y Corredores) que apoyará de manera práctica a la toma de decisiones en el posterior proceso de planeamiento.

### 2.5.1 Delimitación del espacio de batalla

Para delimitar el espacio de batalla es necesario definir los conceptos de: zona de interés de inteligencia (ZII), zona de responsabilidad de inteligencia (ZRI) y zona de acción (ZA). La ZII comprende el área en la cual se encuentra una unidad, en la que los factores y acontecimientos que se produzcan pueden repercutir en el resultado de sus operaciones actuales o futuras. Será la propia unidad quién establezca su propia ZII, que se verá influenciada por las fuerzas enemigas desplegadas, las consideraciones geográficas, las misiones futuras y el tiempo necesario [4]. En cuanto a la ZRI, se trata del área asignada por la unidad superior en la cual el comandante de la unidad en campo es responsable de la producción de inteligencia con sus medios asignados. No se debe confundir con la zona de acción (ZA), la cual consiste en el área en la que la unidad mantendrá presencia física y llevará a cabo la operación asignada [4].

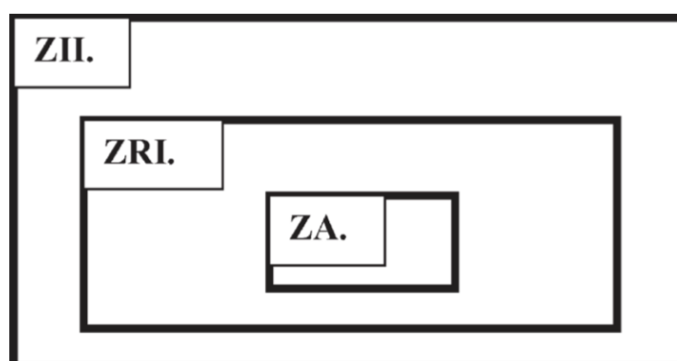


Figura 2-12 Esquema ZII, ZRI, ZA [4].

La delimitación del espacio de batalla está íntimamente relacionada con el escalón de mando, ya que el estudio se llevará a cabo según las directrices indicadas sobre el detalle deseado. Generalmente la ZII de una unidad será de dimensiones similares a la ZRI de la unidad superior. Es importante que cada

unidad apoye a sus unidades subordinadas para que dispongan de tiempo y medios para llevar a cabo este análisis satisfactoriamente [4].

### 2.5.2 Estudio del terreno

En este segundo paso se tratarán de analizar los factores del terreno influyentes en las operaciones a llevar a cabo. Se realizará mediante dos fases: primero se realizará el estudio de los aspectos generales y, posteriormente, de los militares del terreno. El producto final del primer análisis de los factores generales será el conocido SOC (Superponible de Obstáculos Combinados) y el correspondiente al análisis de los aspectos militares será el SAC mencionado anteriormente [4].

En esta labor es dónde entran en juego los Sistemas de Información Geográfica propuestos en este TFG, con los cuales el desarrollo de este estudio resultará más ameno y eficiente. Como ya se ha expuesto, estos sistemas permitirán al usuario, en este caso los oficiales que conforman las células de inteligencia y operaciones, mantener los superponibles actualizados para poder conducir las operaciones en curso eficientemente.

#### 2.5.2.1 Aspectos generales del terreno

El estudio de los aspectos generales contemplará todos los accidentes del terreno, bien naturales o artificiales, que comprometan la movilidad de las fuerzas propias. Se materializará mediante la superposición de diferentes capas temáticas para obtener una representación gráfica de las zonas viables (zonas *GO*), inviables (zonas *NO GO*) o las difícilmente transitables (zonas *SLOW GO*), produciendo así el citado SOC [4].

Es subrayable que esta etapa debe ser lo más completa y detallada posible que el tiempo permita, ya que creará la base para todas la subsiguientes [4].

Para llevar a cabo este análisis es importante recurrir a una significativa variedad de fuentes como pueden ser las siguientes:

- Cartografía convencional o digital.
- Mapas temáticos editados por organizaciones geodésicas o por servicios SIG.
- Orto mapas u ortofotos extraídas a partir de imágenes satélite. Tienen gran importancia por su capacidad de actualización sin tener que exponer a personal de reconocimiento.
- Fotografía aérea para obtener mayor nivel de detalle.
- Reconocimiento del terreno permitiendo validar la información original.

Cabe reseñar que en este estudio no se incorpora ninguna información sobre el enemigo que vaya a afectar a la operación.

Tras el proceso de obtención de la información entre las fuentes consultadas surgirán las siguientes capas temáticas:

- Formas superficiales y relieve: para su materialización se obtendrá una capa que muestre las curvas de nivel que darán lugar al concepto de formas superficiales, mostrando así una idea clara del relieve de acuerdo con la escala seleccionada. Es importante analizar bien micro relieves como pequeñas zanjass o socavones (aproximadamente 5 metros de anchura y 2 o 3 de profundidad), que tendrán una elevada importancia para las unidades acorazadas o mecanizadas [4].
- Pendientes: para evaluar este aspecto del terreno se utilizará la regla del tanto por ciento (%), por ser la más comúnmente empleada. Es de especial importancia conocer qué tipo de vehículos pueden afrontar qué tipo de pendientes. Mediante el uso de los SIG se confeccionará el análisis haciendo uso del formato MDT (Modelo Digital del Terreno), que permitirá al usuario realizar consultas de altimetría [4]. Su criterio se halla en la Figura 2-13.






Criterios de pendientes	Código de colores	Color
Mayor del 50%	Rojo	
Entre 30 y 50%	Naranja	
Entre 30 y 15%	Amarillo	
Menor de 15%	Transparente	

Figura 2-13 Rango de pendientes con su correspondiente código de colores [4].

- Drenaje: comprende toda masa de agua presente en el terreno como pueden ser: los diversos cursos de agua permanentes o estacionales, las condiciones de los fondos, orillas y la velocidad del agua, los lagos, los pantanos (lentos o vacíos), las marismas o zonas pantanosas, las zonas inundables, los manantiales, etc. Será interesante también exportar capas del subsuelo por si existieran cursos de agua subterráneos que tuvieran relevancia para las fuerzas propias y la localización de puentes al tratarse de puntos críticos [4]. Atendiendo a las características de los cursos de agua se pueden clasificar como muestra la Figura 2-14.



Criterios	Código de colores	Color
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Cursos de agua y otros obstáculos hídricos no congelados, que no pueden ser atravesados ni aun utilizando medios lanzapunte.</li> <li>— Además otros que tengan márgenes verticales mayores de 1,2 m.</li> <li>— Corrientes superiores a 1,5 m/s.</li> <li>— Fondos de profundidad superior a de 1,2 m.</li> </ul>	Azul continuo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>— Cursos de agua con profundidades y corrientes menores que los anteriores, así como aquellos que dispongan de varios puntos de vadeo.</li> </ul>	Azul discontinuo	
— El resto.	Transparente	

Figura 2-14 Criterio hidrográfico [4].

- Suelos: el objeto principal del estudio de este factor será averiguar la viabilidad para medios vehiculares, ya que suponen la restricción más influyente en la maniobra. La mejor fuente para este análisis es el reconocimiento de ingenieros, debido a que es la única forma de obtener la resistencia del suelo a rotura o cizallamiento, aunque será tarea complicada y por lo que habrá que hacer una selección de zonas más desconocidas para otorgarles prioridad sobre las demás. Otras fuentes podrán ser: mapas temáticos de posibilidades de excavación y aptitud para el movimiento proporcionados por el Centro Geográfico del Ejército, datos sobre la composición del suelo otorgados por el Instituto Geológico y Minero, los datos sobre usos y naturaleza del suelo proporcionados por el Ministerio de Agricultura y los datos obtenidos a partir de vuelos SAR (Radar de Apertura Sintético) que permiten el estudio del suelo mediante la penetración de microondas en él. Finalmente, los factores para tener en cuenta serán: composición del suelo, humedad, profundidad de este, su perfil y estratificación y su resistencia [4]. Sus características serán representadas como se observa en la Figura 2-15.





Criterios	Código de colores	Color
— Suelo D: gravas y arenas limosas.	Marrón continuo	
— Suelo C: gravas y arenas arcillosas.	Marrón cruzado	
— Suelo B: arcillas de alta plasticidad y gravas.	Marrón discontinuo	
— Suelo A: gravas y arena graduadas.	Transparente	

Figura 2-15 Criterio del suelo [4].

- Vegetación: aspecto que puede llegar a tener un gran impacto en la movilidad dependiendo de su densidad, factor primordial para la confección de su análisis (Figura 2-17). El mejor tipo de fuente para este aspecto es el reconocimiento *in situ* del terreno o mediante fotos satelitales debido a su gran varianza a lo largo del tiempo. Reseñar que la información extraída de este estudio puede orientar sobre otros aspectos como el drenaje, el clima, la composición del suelo y los habitantes de la zona, debido a que todo ello está relacionado. Además de la densidad, la cobertura vegetal (Figura 2-16) y su capacidad de ocultación será representada en otra capa temática diferenciada [4].


Criterios	Código de colores	Color
— Bosques de hoja perenne. — Bosques de hoja caduca, con expresión del período del año en que están cubiertos. — Otra vegetación diferente al bosque que proporcione ocultación.	Naranja discontinuo	

Figura 2-16 Criterio de cobertura vegetal [4].








Criterios	Código de colores	Color
— Bosques con separación entre árboles menor de 5 m y diámetro de tronco entre 15 y 20 cm.	Verde continuo	
— Bosques con separación entre árboles menor de 5 m y diámetro de tronco entre 5 y 15 cm. — Cultivo de vides.	Verde discontinuo	
— Bosques con separación entre árboles mayor de 5 m y diámetro de tronco menor de 5 cm.	Transparente	

Figura 2-17 Criterio de densidad vegetal [4].

- Obras artificiales: supone un factor que presenta una alta probabilidad de cambio en el transcurso del tiempo. Para su estudio habrá que considerar aspectos de interés los siguientes: núcleos urbanos indicando alturas de edificaciones, redes subterráneas, monumentos, edificios protegidos por el Derecho de Conflictos Armados, rutas de comunicación terrestre (vías de ferrocarril, carreteras, puentes y cortafuegos) y de especial relevancia los acuartelamientos de interés militar, aeródromos o zonas de aterrizaje y los puertos fluviales o marítimos. El producto final será el superponible de zonas edificadas y vías de comunicación reglado por el criterio expuesto en la Figura 2-18.

Criterios	Código de colores	Color
— Zonas urbanas de más de 500 m de diámetro o que no puedan ser rodeadas.	Área cruzada en rojo	
— Zonas urbanas de menos de 500 m de diámetro o que sean fácilmente rodeadas.	Área rayada en rojo	
El resto de obstáculos a destacar se señalan según el siguiente cuadro:		
— Autopistas, autovías, carreteras nacionales y autonómicas.	Línea roja	
— Vías de ferrocarril.	Línea negra	
— Otras construcciones significativas, campos de minas, obstáculos contracarro, etc.	Según APP-6	

**Figura 2-18 Criterio de obras artificiales [4].**

- Otras capas de interés: se darán en función del tipo de operación a desarrollar como, por ejemplo, en una operación anfibia será de especial importancia realizar un estudio hidrográfico de las posibles playas de desembarco con el fin de obtener la información necesaria para asegurar el desembarco de tropas y medios de una manera segura y eficaz.

Finalmente, tras haber estudiado los diferentes aspectos generales del terreno, se confeccionará el SOC mediante la clasificación de los estudios temáticos según el criterio de zonas “GO/NO GO/SLOW GO” [4]. A modo de ejemplo podemos hallar la Figura 2-19.

- Zona de movimiento sin restricciones (GO): Terreno sin restricciones al movimiento. Las unidades que lo transitan no necesitan apoyo a la movilidad y permite una maniobra cómoda.
- Zona de movimiento muy restringido (NO GO): Terreno que restringe severamente o ralentiza de forma importante los movimientos de las unidades en combate, a no ser que se utilicen muchas unidades de ingenieros, o que se separe de la doctrina.
- Zona de movimiento con restricciones (SLOW GO): Terreno que condiciona en alguna medida y requiere un esfuerzo adicional tanto para mantener los ritmos doctrinales, como para utilizar las formaciones y evoluciones de combate habituales [4].



Dificultad	MMR. o NO-GO	MCR. o SLOW-GO	MSR. o GO
Representación			
Pendientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superiores al 50%.</li> <li>• Cortaduras/bancales superiores a 1 m.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre el 50 y el 30%.</li> </ul>	Inferiores al 30%.
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ríos ancho mayor de 40 m.</li> <li>• Márgenes verticales superiores a 1 m.</li> <li>• Corrientes superiores a 1,5 m/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ríos con ancho entre 40 y 18 m.</li> </ul>	
Suelos (OR5-406)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D: Limosos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C: Arcilloso orgánico.</li> </ul>	B: Arcillas inorgánicas.
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bosques.</li> </ul>		
Obras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas edificadas de más de 500 m de diámetro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zonas edificadas menos de 500 m de diámetro.</li> <li>• Vías de comunicación con anchura superior a 5 m o con desmontes.</li> </ul>	

Figura 2-19 Ejemplo de clasificación del terreno según su viabilidad para la fuerza operativa [4].

Por último, para la confección del SOC será necesario poner en conjunto los productos obtenidos de cada uno de los atributos del terreno según el criterio expuesto en la Figura 2-20.





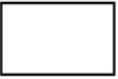







Áreas solapadas	Resultado
 + 	
 + 	
 + 	
 + 	

Figura 2-20 Criterio de solape [4].

### 2.5.2.2 Aspectos militares del terreno

Los aspectos militares del terreno, por doctrina nacional alineada con la publicada por la OTAN, son OCOKA: Observación y campos de tiro, Ocultación y protección, Obstáculos, terreno clave (*Key points*) y Avenidas y corredores. Estos aspectos del terreno poseen una especial relevancia para las unidades militares, debido a que su posesión o utilización otorga ciertas ventajas considerables frente al enemigo en combate. En base a estos factores y el SOC elaborado previamente se trabajará para la obtención del SAC [4].

El estudio sobre los aspectos militares del terreno es el siguiente:

- Observación: se analizarán zonas vistas y ocultas desde posibles observatorios colocados en inmediaciones de la avenida de aproximación. Se deberán tener en cuenta los condicionantes de cobertura vegetal o meteorología que pueden influir en la línea de visión directa.
- Campos de tiro: basándose en el estudio anterior de observación se aplicará el alcance eficaz de las armas propias para poder delimitar los campos de tiro de estas.

El terreno que ofrezca estos dos factores anteriores favorecerá las operaciones defensivas debido a que facilitará la identificación de: zonas de destrucción donde se batirá a las fuerzas enemigas, vulnerabilidades a la maniobra propia y la ubicación de las posibles posiciones defensivas a imponer para la defensa.

- Ocultación: el proceso a seguir es similar al seguido para estudiar la observación. Se buscarán los itinerarios que favorezcan la mayor ocultación posible para el movimiento propio.
- Protección: se tratará de identificar aquellos pasillos no expuestos a fuego enemigo desde posibles posiciones de este. Se realizará sobre el superponible de ocultación añadiendo cualquier condicionante que pueda influir sobre la línea de tiro del armamento.

La evaluación de la ocultación y la protección favorece a la identificación de zonas y rutas de gran importancia en una operación militar, como pueden ser zonas de reunión, en donde una unidad se mantendrá en posición para reorganizarse, descansar o simplemente a la espera de órdenes, o itinerarios de aproximación hacia objetivos de alto interés operacional.

- Obstáculos: se llevará a cabo un estudio de los obstáculos presentes en los pasillos seleccionados en el SAC inicial (explicada su confección a continuación) los cuales pueden favorecer o desfavorecer la maniobra propia y del enemigo. Se considerará la posibilidad de batir por el fuego aquellos que desfavorezcan la maniobra enemiga.
- Terreno clave: constituirá el conjunto de accidentes del terreno el cual otorgará a las fuerzas propias una posición ventajosa sobre el enemigo. Podrá tratarse de todo tipo de accidentes dependiendo de la misión que se vaya a realizar, es decir, pueden ser: zonas de cruces importantes de carreteras o vías de comunicación que afecten al uso de reservas o abastecimientos, o incluso una cota en inmediaciones de posiciones enemigas que permita hacer fuego eficaz de las armas propias.
- Avenidas de aproximación: se analizarán todo tipo de pasillos posiblemente utilizados por el enemigo como pueden ser caminos, desfiladeros, carreteras, cuellos de botella, etc.

El control de estos tres últimos aspectos militares del terreno favorece las operaciones ofensivas ya que incitan a llevar la iniciativa en la maniobra y poder infligir el mayor daño sobre el enemigo.

Criterio	AA1	AA2	AA3
Ocultación	3	2	1
Protección	2	3	1
Campos de tiro	2	1	3
Observación	1	2	3
Terreno clave	3	2	1
Obstáculos	2	1	3
AA (maniobra)	3	2	1
TOTAL	16	13	13

**Figura 2-21 Ejemplo de matriz de decisión en cuanto a las diferentes avenidas según sus factores más influyentes [4].**

La elaboración del SAC se realiza mediante dos etapas. La primera incluirá únicamente las posibles avenidas de aproximación y corredores de movilidad por los que tanto fuerzas propias como e puede maniobrar. Se debe concretar que las avenidas de aproximación se refieren a las avenidas que el enemigo puede utilizar para aproximarse a las posiciones propias y, por otro lado, los corredores de movilidad son utilizados para referirse a los accidentes del terreno, artificiales o no, que un comandante de unidad emplea para maniobrar con su unidad. Generalmente estas avenidas y corredores pueden coincidir con caminos, pistas o incluso carreteras, pero no se debe caer en el error de que sólo existen esas opciones para materializar uno u otro. Una explanada con campo abierto puede tratarse tanto de una avenida de aproximación del enemigo como de un corredor de movilidad de fuerzas propias. Por ello, para la elaboración de este SAC inicial se debe prestar especial atención al ORBAT (Orden de Batalla) enemigo para identificar su despliegue y su entidad con el fin de seleccionar los pasillos adecuados para que el análisis resulte práctico y eficaz [4].

En cuanto a la segunda etapa de este proceso es cuando entran en juego los demás factores influyentes en operaciones militares. Se lleva a cabo una depuración del SAC inicial mediante el estudio de la influencia del resto de factores expuestos anteriormente sobre las avenidas y corredores, priorizando algunos de ellos desde un punto de vista objetivo. El objetivo es eliminar o no tener en cuenta aquellos pasillos que, desde el punto de vista de la observación y campos de tiro, ocultación y protección, obstáculos, y el acceso a zonas clave, no tienen ningún valor. De esta forma identificaremos los interesantes para las fuerzas propias y los posibles utilizados por el enemigo [4].

Finalmente, llegados a este punto, será posible afirmar que el estudio del terreno se habrá llevado a cabo satisfactoriamente mediante la elaboración de los productos explicados a lo largo de este apartado, contribuyendo así a la toma de decisiones en el proceso de planeamiento de una operación militar.

### *2.5.3 Estudio de otros factores*

El estudio de la meteorología y de otros factores como la distribución étnica, política o lingüística de la población pueden suponer la elaboración de ciertos superponibles de especial interés para la operación llevada a cabo. Ayudarán a mantener actualizados el SOC y el SAC y aportarán información necesaria para cierto tipo de operaciones.

En cuanto a la meteorología, habrá que estudiar de qué forma afectan a las operaciones en curso sus diferentes factores como son: la visibilidad, el viento, las precipitaciones, las nubes, la temperatura y la humedad. Todos estos habrá que analizarlos y contemplar si favorecen a las fuerzas propias o al enemigo [4].

En el actual teatro de operaciones las consideraciones sociales están a la orden del día, por lo que la importación de información de este tipo en los estudios del terreno será de especial relevancia. Como es de esperar, el papel que ejercen los SIG sobre los anteriores aspectos generales y militares del terreno y, sobre todo, los expuestos en este subapartado es fundamental. Los Sistemas de Información Geográfica nos brindarán un abanico de posibilidades para la gestión de todos estos datos que es inmensamente mayor que el otorgado por medios convencionales.

## 3 DESARROLLO DEL TFG

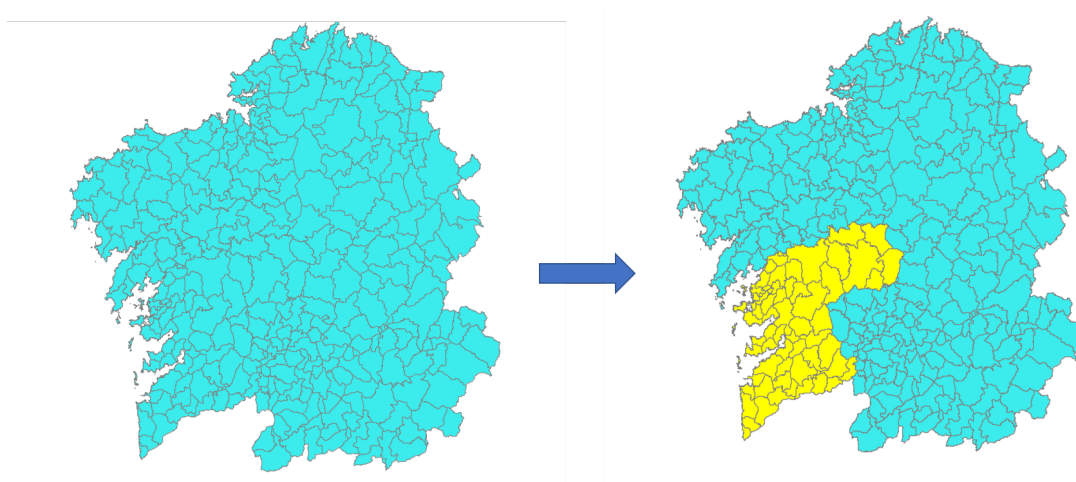
### 3.1 Zona de actuación

La zona de actuación está ubicada en la Comunidad Autónoma de Galicia, y más concretamente en la Provincia de Pontevedra situada al Suroeste de la comunidad gallega.

Para la determinación de la zona de actuación se han escogido los tres últimos ejercicios de maniobras militares llevados a cabo por los alumnos en la zona: un ejercicio topográfico de reconocimiento de itinerarios y 2 ejercicios realizados en el arco nocturno, cada uno de ellos planeados para llevar a cabo un tipo de operación militar concreta como, por ejemplo, un ataque en condiciones de visibilidad reducida o una patrulla de combate.

A continuación, se explica el proceso para la preparación de la zona de actuación en el software gvSIG:

En primer lugar, se han importado las capas de concellos de Galicia descargadas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) y, mediante la herramienta “Filtro”, la cual permite seleccionar ciertos atributos de una capa (selección resaltada en amarillo), se seleccionan los concellos (ayuntamientos) pertenecientes a la Provincia de Pontevedra (Figura 3-1).

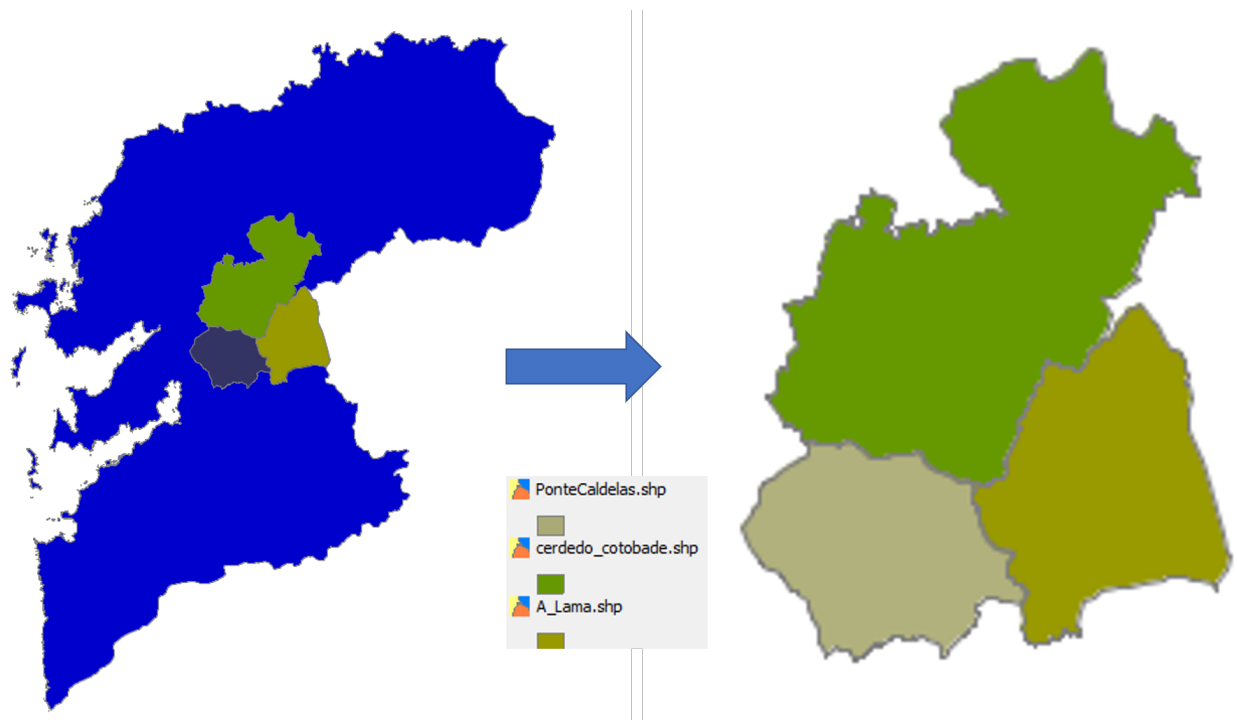


**Figura 3-1 Inserción de la capa de ayuntamientos seleccionando los pertenecientes a la Provincia de Pontevedra.**

Una vez obtenidos los concellos pontevedreses, se exportan a una nueva capa *shape* para que sólo se visualicen los seleccionados.



Acto seguido, mediante la misma herramienta “Filtro”, se han seleccionado los concellos en los que se enmarcan los itinerarios seguidos en estas operaciones: Ponte Caldelas al Suroeste, Cotobade al Norte y A Lama al Este. Una vez obtenidos la capa final se exporta a formato “.shp” como se observa en la Figura 3-2.



**Figura 3-2 Zona de acción.**

Lo siguiente será introducir en el gvSIG los puntos topográficos mediante la inserción de una tabla Excel en formato “.csv”, así como crear los itinerarios de las rutas X e Y de cada uno de los ejercicios llevados a cabo en la zona. La capa de rutas, en formato “.shp” se creó insertando las imágenes georreferenciadas de las hojas cartográficas correspondientes a la zona de estudio (hoja 0186 del MDT50), previamente descargadas del IGN, y su posterior trazado mediante la interfaz de edición del software. Es de especial importancia georreferenciar adecuadamente cada una de estas capas a insertar para su correcta superposición. Cabe mencionar que para el tratamiento de los datos espaciales en este TFG se ha utilizado el datum ETRS89 con huso 29N (sistema de proyección cartográfica) correspondiente a la comunidad gallega.

Ambas rutas X e Y se asocian a ejercicios realizados por la unidad como una operación estándar en el arco nocturno, como es una patrulla de combate. Las rutas insertadas se corresponden con los itinerarios de aproximación que siguió la unidad de Infantería de Marina (IM) para llegar a sus respectivos objetivos.

Por otro lado, los puntos topográficos, situados en torno al área fronteriza entre los tres municipios estudiados, son los relacionados con los ejercicios de topografía llevados a cabo por el personal de la compañía de IM. Estos puntos han sido facilitados por el Departamento de IM de la ENM y han sido obtenidos mediante coordenadas del visor en línea del IGN (Iberpix 4). En este tipo de ejercicio cada individuo recibe una relación de puntos (normalmente 4 o 5 puntos en total) a los que debe llegar con un determinado orden y una franja horaria establecida (aproximadamente 5 horas). La asignación de los puntos en cada ejercicio se realiza de manera aleatoria, por lo cual no tiene sentido plantear un estudio de cada posible itinerario y se llevará a cabo un estudio general del área que contenga dichos puntos topográficos.



Una vez realizadas las operaciones anteriores ya queda definida nuestra zona de estudio, la que se encuadra en una región central entre los municipios de Ponte Caldelas, Cerdedo-Cotobade y A Lama (ver Figura 3-3).

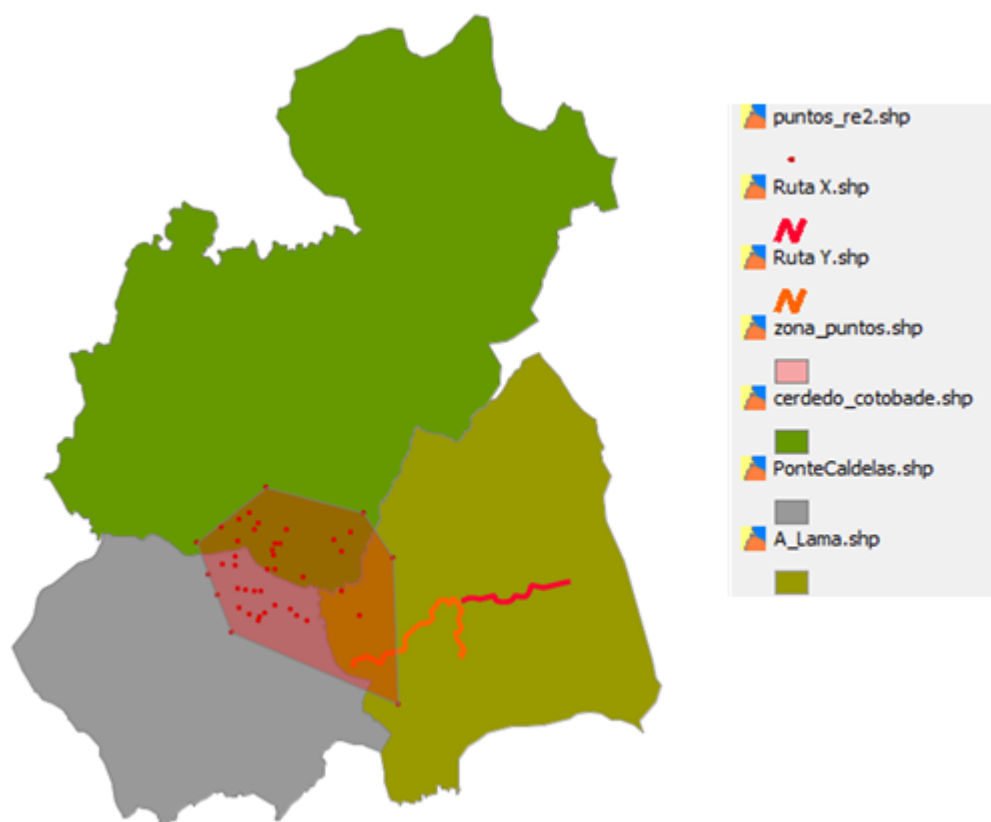


Figura 3-3 Capas asociadas a los puntos topográficos y rutas llevadas a cabo por la CIA de Alumnos.

## 3.2 Datos Geográficos

La obtención de la información geoespacial para este proyecto se ha obtenido de diferentes fuentes de referencia nacional las cuales proporcionan la descarga gratuita de diferentes capas temáticas:

### 3.2.1 Instituto Geográfico Nacional (IGN):

Sostiene el Centro de Descargas del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica), el cual proporciona todo tipo de información georreferenciada. Incluye mapas en formato imagen con varias escalas de representación, mapas vectoriales, y bases cartográficas y topográficas para su explotación con los SIG, así como mapas impresos escaneados. También ofrece información geográfica de referencia para la representación del territorio (redes de transporte, líneas límite, información geodésica, etc.), información geográfica temática para consulta propia o la generación de productos cartográficos, Modelos Digitales del Terreno (MDT) y Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) representando el relieve nacional, ortofotografías de varios años e imágenes satélites. Además, pone a disposición la documentación geográfica de valor histórico y cartográfico y, por último, ofrece diferentes rutas de interés cultural como las pertenecientes al Camino de Santiago o rutas por Parques Nacionales [27].



Figura 3-4 Centro de descargas del IGN [27].

De esta fuente se han obtenido las siguientes capas:

➤ Ocupación del Suelo:

Información proporcionada por la capa “*CORINE Land Cover*”, desarrollada en el proyecto europeo “*Copernicus*” con el objetivo fundamental de obtener una base de datos para el uso del suelo a escala 1:100.000, útil para la gestión territorial europea. Este inventario de datos fue iniciado en 1985 y actualizaciones de este, las cuales son responsabilidad de la Agencia Europea del Medioambiente, se han llevado a cabo en los años subsiguientes en 2000, 2006, 2012 y la más reciente en 2018 (la utilizada en este TFG). Esta base de datos contiene 44 tipos de coberturas del suelo y utiliza una unidad mínima de mapeo de 25 hectáreas para polígonos y 100 metros para la anchura linear. Posee datos satelitales con una exactitud geométrica menor o igual que 10 metros (resolución) y una exactitud temática del 85%. Por ello, todo cambio mayor o igual a 5 hectáreas deberá estar representado. Su última versión del 2018, fundada por el proyecto “*Copernicus*”, tardó menos de un año en estar confeccionada contando con la colaboración de los medios de obtención de 39 países [28].

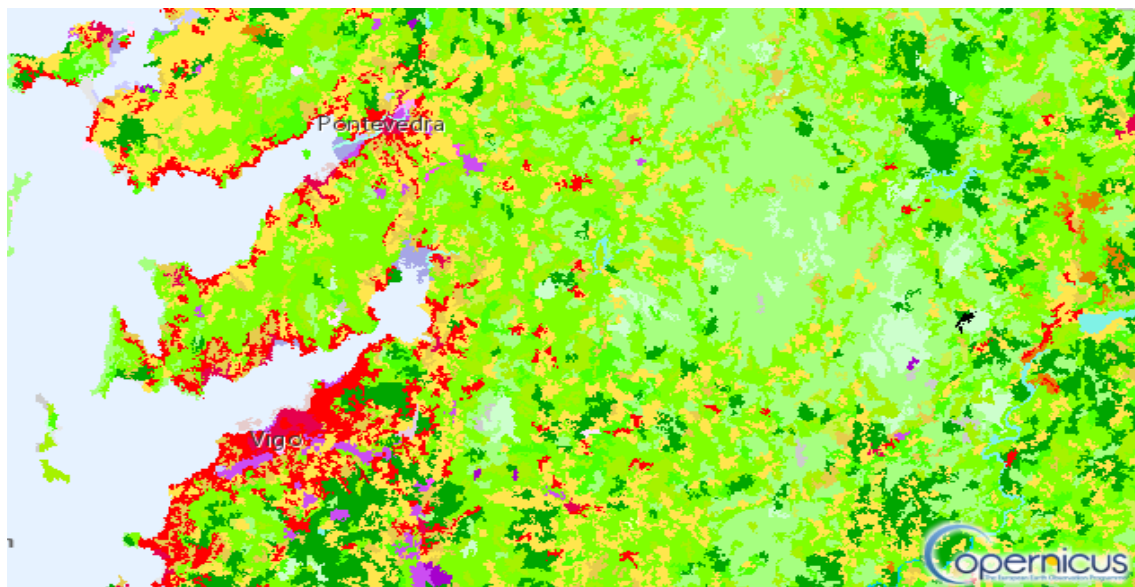


Figura 3-5 *Corine Land Cover* de Pontevedra y Vigo [28].

Con el fin de profundizar y contrastar la información geográfica aportada por la capa anterior, en este análisis se incorporará la capa del SIOSE (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España), la cual se encuentra dentro del marco del Plan Nacional de Observación del Territorio, cuyo objetivo primordial es la elaboración de una base de datos de ocupación del suelo para toda España a escala 1:25.000. Esta base de datos contiene 57 tipos de coberturas del suelo simples. Esta iniciativa posee un modelo físico con dos tablas principales: la primera conteniendo la información de los todos polígonos bajo estudio y la segunda guarda todos los atributos de las coberturas o combinaciones de estas que se puedan dar. En este caso, la resolución de los datos es de 5 metros, en comparación a los 10 metros de los datos del *Corine Land Cover*. Este modelo es normalizado, interoperable y armonizado de la ocupación del suelo y, además posee tres características principales: es multiparámetro (varias clases y atributos para un mismo polígono), multicriterio (permite asociar al uso y cobertura al polígono) y orientado a objetos (materializado en base de datos según un Modelo de Entidad-Relación). Este proyecto nacional se caracteriza por su control nacional centralizado por el IGN, pero su ejecución es descentralizada, llevándose a cabo en las diferentes administraciones autonómicas. Sus últimas actualizaciones datan del 2014 y 2017 [29].

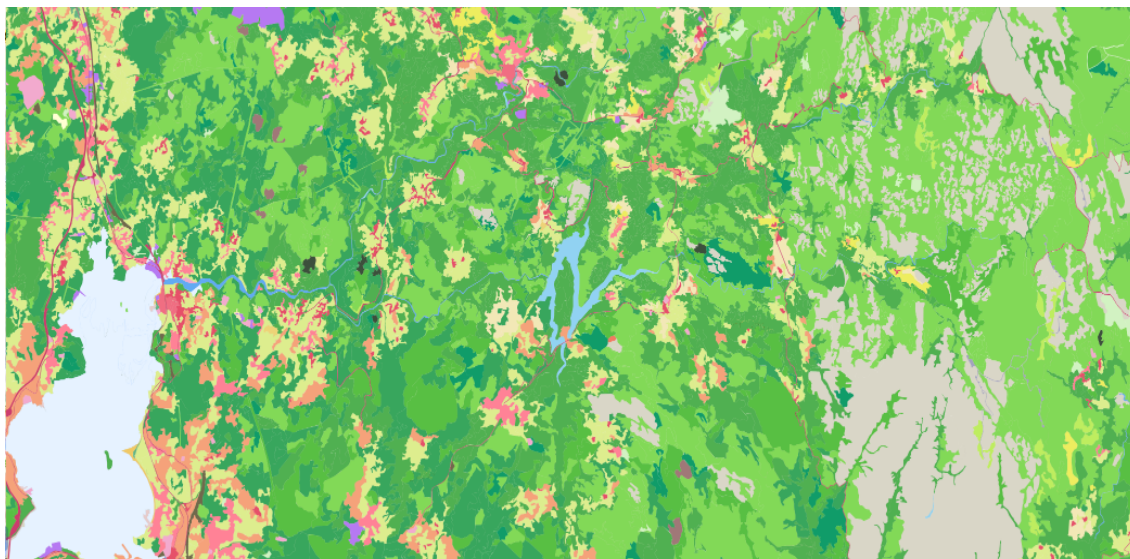


Figura 3-6 Ejemplo de capa SIOSE [29].

➤ Red Viaria:

Datos geoespaciales proporcionados por la capa “Carto Ciudad”, que muestra el conjunto de direcciones sobre la red viaria española. Este proyecto es llevado a cabo de manera conjunta por diferentes organismos nacionales (IGN, Catastro, Correos e Instituto Nacional de Estadística), todos ellos liderados y coordinados por el CNIG. En él se puede encontrar información acerca de: la red viaria continua (calles y carreteras con puntos kilométricos), cartografía urbana y toponimia, códigos postales y distritos, y secciones censales [30].



Figura 3-7 Visor online de la capa CartoCiudad sobre una ortofoto [30].



➤ División territorial:

Las capas obtenidas en referencia a la división territorial son las correspondientes a las Provincias de Galicia y los Ayuntamientos correspondientes con la Provincia de Pontevedra. Esta información temática ha sido útil en el presente TFG para delimitar la zona de estudio que, como se ha explicado antes, está en el sector central entre las provincias de Ponte Caldelas, Cerdedo-Cotobade y A Lama.

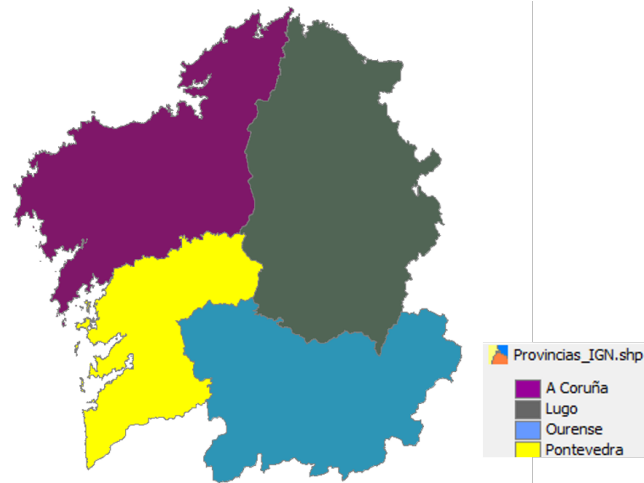


Figura 3-8 Provincias de Galicia en gvSIG.

➤ Datos de curvado LIDAR (MDT):

Para la representación del relieve territorial se hará uso del nuevo modelo digital del terreno facilitado por el IGN, el MDT02 con resolución o paso de malla de 2 m. Este proyecto es la última actualización realizada por esta institución con el máximo paso de malla logrado hasta el momento, el cual ofrece una mayor resolución significativa comparado con el producto antecesor, el MDT05 con un paso de malla de 5 m (ver Figura 3-9). Su sistema de referencia geográfico es el ETRS89 con proyección UTM y en el huso correspondiente a cada hoja (en el caso de este TFG, el huso 29 correspondiente a la Comunidad Autónoma de Galicia). Este MDT02 se ha generado por interpolación a partir de la nube de puntos de vuelos LIDAR (*Light Detection and Ranging*) correspondientes a la segunda cobertura del proyecto PNOA-LIDAR. La información temática de dicha capa incluye archivos Excel y *shape* de las zonas disponibles y su año de vuelo [27].

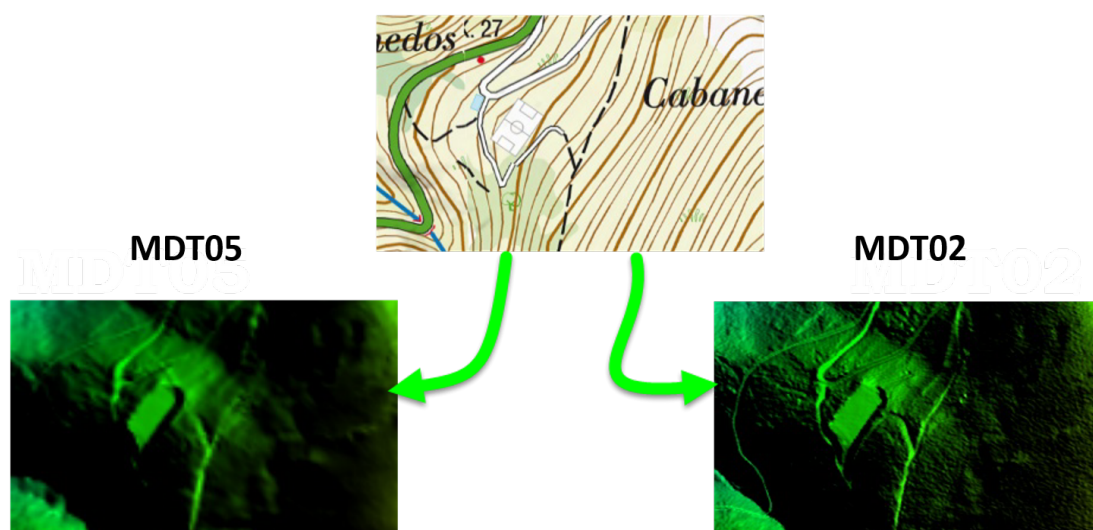
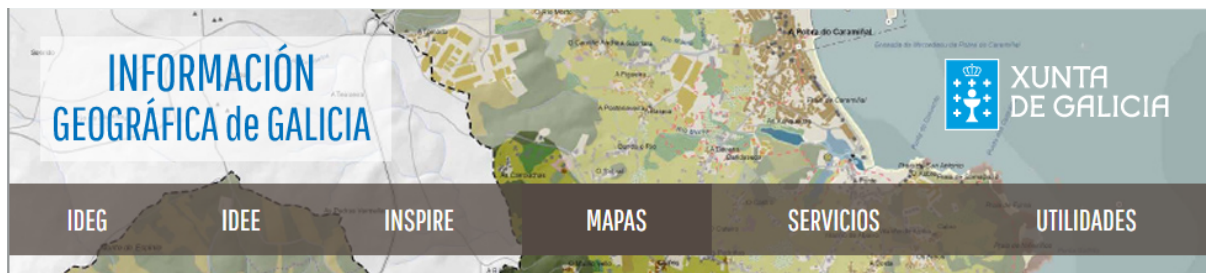


Figura 3-9 Resolución en MDT02 vs. MDT05.

### 3.2.2 Xunta de Galicia:

La Comunidad Autónoma de Galicia pone a disposición de la población los datos geográficos para su libre consulta y posterior descarga. Dicha fuente posee un portal, o IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) que consiste tanto en un visor online de la información temática como en un centro de descargas práctico y útil que ofrece la posibilidad de hallar y descargar todo tipo de ficheros de información geográfica. Permite la búsqueda de la información según diferentes filtros como son la búsqueda por topónimo, por referencia catastral o por coordenadas [31].

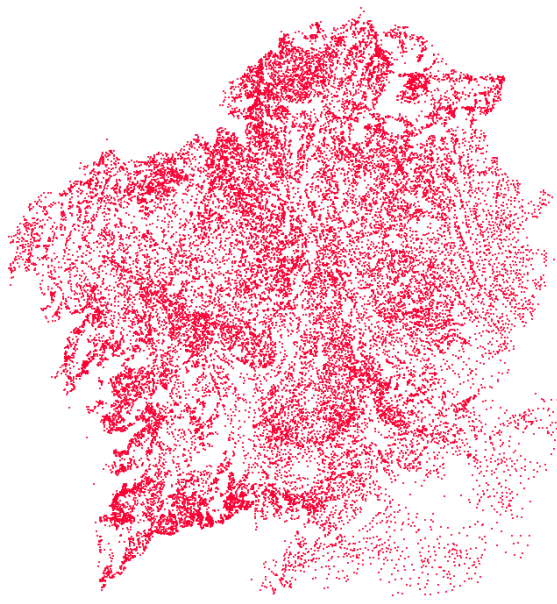


**Figura 3-10 Portal de descargas de la Xunta de Galicia [31].**

De esta fuente se ha obtenido la descarga directa de los siguientes datos con información geográfica:

➤ Núcleos de Población:

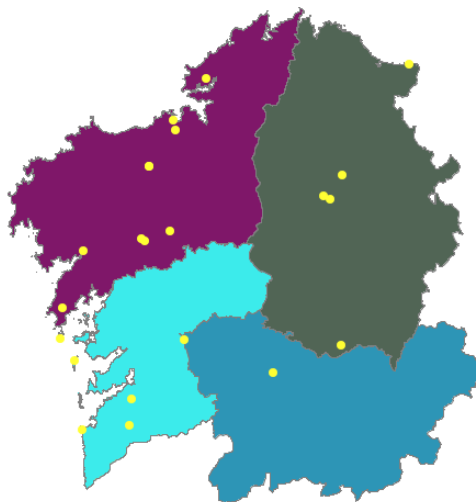
Las áreas con alta densidad de población son un requerimiento de información extremadamente importante para el estudio del terreno en una operación militar. La presencia de personal civil en el espacio de batalla es un factor altamente limitante. Según la táctica convencional, en la medida de lo posible se deben evitar los itinerarios que atraviesan poblaciones, debido al riesgo que existe de ser delatados o por poner en peligro a personal civil. Sin embargo, la forma de hacer la guerra ha evolucionado y en el teatro de operaciones actual muchas veces es inevitable encontrarse inmerso en las calles de un poblado o en medio de una avenida de una ciudad. En la Figura 3-11 se puede hallar la capa proporcionada por la Xunta utilizado en este estudio.



**Figura 3-11 Núcleos de población de Galicia en gvSIG.**

➤ Aeródromos:

La situación geográfica de estas infraestructuras supone una necesidad de información importante para las operaciones militares, debido a que la utilización de aeronaves requiere adquirir el control sobre emplazamientos para la toma y salida de las plataformas aéreas. Estos vectores aire-tierra realizarán un gran apoyo logístico, operativo y sanitario para la mayoría de las operaciones. En la Figura 3-12 se pueden encontrar las ubicaciones de estas infraestructuras para toda la comunidad de Galicia.



**Figura 3-12 Aeródromos de Galicia en gvSIG.**

➤ Carreteras:

Las vías de comunicación asfaltadas (Figura 3-13) resultan la forma más rápida para todo vehículo al trasladarse de un sitio a otro. Por ello, será necesario tener claro su estado de viabilidad y su uso por fuerzas enemigas. Pueden suponer una gran ayuda o amenaza para las fuerzas propias.



**Figura 3-13 Carreteras de la Comunidad Autónoma de Galicia.**

➤ Red Natura 2000:

Consiste en una red ecológica europea que aporta dos capas temáticas de información con relación a la conservación de ciertas zonas protegidas. La primera de ellas es la ZEC (Zonas de Especial Conservación) designadas por su directiva Hábitat y la segunda se trata de la ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) designadas por su directiva Aves. Toda operación militar deberá mirar hacia los intereses de la conservación del medioambiente, por muy violentas y combativas que puedan ser las acciones llevadas a cabo por sus unidades. Tratándose de ejercicios de instrucción y adiestramiento, como los llevados a cabo por la Compañía de Alumnos de la ENM, es intolerable el no poseer dicha información en el planeamiento para asegurarse de que de ninguna manera se van a llevar acciones en contra de la conservación de zonas protegidas.



Figura 3-14 Red Natura 2000 y ZEC de Galicia [32].

➤ Hidrografía:

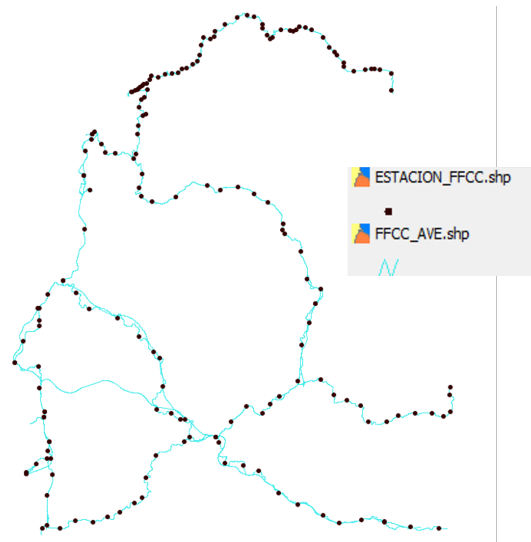
Los embalses y ríos (ver Figura 3-15 para Galicia) presentes en zona de operaciones pueden suponer una variedad de ventajas e inconvenientes para una unidad militar. Por un lado, pueden materializar una fuente de agua dulce para las tropas, lo cual es un punto a favor hacia la sostenibilidad de la fuerza. Sin embargo, estos agentes hidrográficos pueden suponer obstáculos difíciles de sobrepasar mediante el vadeo de vehículos o el baipás de tropas a pie. Además, en operaciones donde el factor clave del éxito es la sorpresa, el sonido producido por el curso de un río puede ocultar el producido por el movimiento de una patrulla (unidad de pequeña entidad) por el campo.



Figura 3-15 Ríos y embalses de Galicia en gvSIG.

➤ Ferrocarril:

La Xunta de Galicia proporciona capas con el recorrido de las vías de tren que recorren las diferentes provincias gallegas, así como la ubicación de estaciones a lo largo de su trazado. Desde el punto de vista de las operaciones militares, se debe aclarar que todo control de infraestructura que se pueda utilizar para el transporte de medios o personas es beneficioso para estas. Por ello, se incluirán las capas ofrecidas del ferrocarril (ver Figura 3-16 para vías y estaciones gallegas).



**Figura 3-16 FFCC AVE y estaciones en Galicia.**

### 3.2.3 Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Fuente estatal que cuenta con una página web que cuenta con diferentes visores geográficos, tanto marinos como terrestres, un geoportal de descargas y un SIG *online* de elaboración propia. La información encontrada en su portal de descargas está gestionada por la IDE del Ministerio que pone dicha información temática al alcance de los usuarios [32].



**Figura 3-17 Portal de Descargas del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [25].**

En esta fuente se descargarán los siguientes datos geográficos:

➤ Inventario Forestal Nacional:

Base de datos llevada a cabo en toda España cada diez años para obtener la información sobre la evolución de las masas forestales. La unidad de trabajo es la provincia y se realiza especial atención a aquellas parcelas que han sido levantadas para así poder comparar el estado de la vegetación antes y después de la acción humana. En la Figura 3-18 se puede hallar un ejemplo de esta capa para la zona de las rías de Pontevedra y Vigo. Desde el punto de vista militar, saber con qué tipo de vegetación se van a encontrar las unidades en el campo tiene una gran importancia, ya que la rapidez y la ocultación con la que avanzarán las tropas a pie dependerá considerablemente de la densidad de vegetación. A mayor densidad, menor velocidad, pero más ocultación.



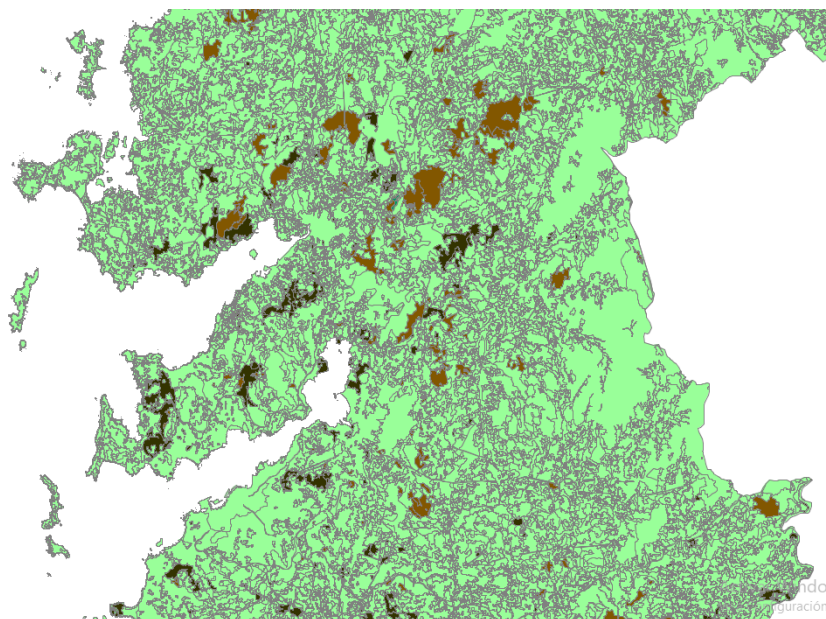


Figura 3-18 Inventario Forestal insertado en gvSIG.

### 3.2.4 Web Map Service (WMS)

Servicio web de mapas posibles de cargar en un software SIG, en el caso de este TFG en gvSIG, y que nos proporcionan consultas de capas temáticas de forma dinámica desde la web. Este servicio está definido por el OGC (*Open Geospatial Consortium*) y proporciona imágenes cartográficas generadas a partir de diversas fuentes (ortofotos, MDT, SIG, etc.). La información difundida por este servicio se clasifica en tres categorías: cartografía temática ambiental, ortofotos y orto imágenes.

#### ➤ PNOA: Plan Nacional de Ortografía Aérea:

Esta capa proporcionada por el WMS nos permite obtener ortofotos que muestran el estado más reciente del terreno por el que van a operar las tropas. Tiene como objetivo la obtención de ortofotografías aéreas digitales (Figura 3-19) con resolución de 25 o 50 cm y modelos digitales de elevaciones de alta precisión del territorio español, con un periodo de actualización de 2 a 3 años. Esta herramienta nos sirve de comparador actualizado para asegurar de que las demás capas introducidas no distan de la realidad [33].

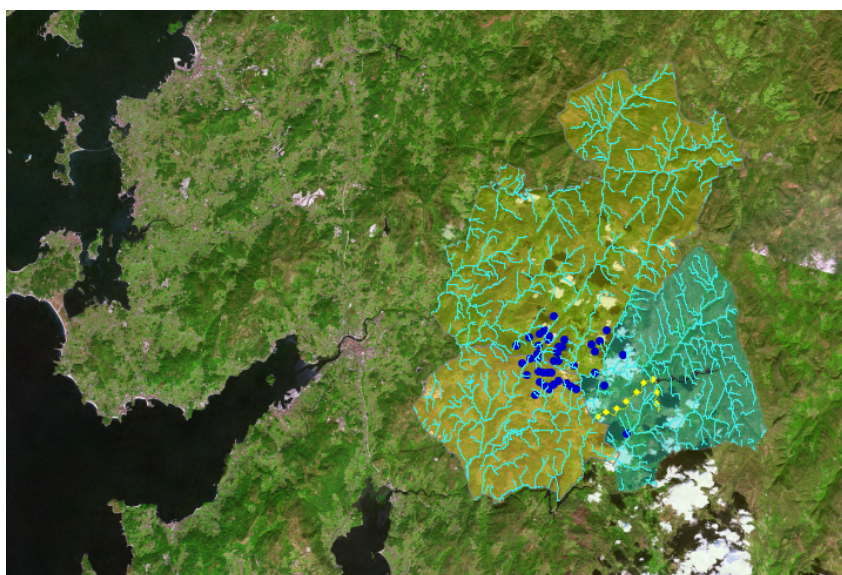


Figura 3-19 PNOA insertado en gvSIG con zona de estudio superpuesta.

➤ Cartografía Geológica:

Servicio web de mapas proporcionado por el IGME (Instituto Geológico y Minero Español). Para este trabajo se ha descargado de dicha fuente el mapa geológico de la Península Ibérica que contiene las unidades cronolito-estratigráficas y la representación de la estructura tectónica mediante fallas y cabalgamientos (ver Figura 3-20 para ejemplo de la zona de estudio).

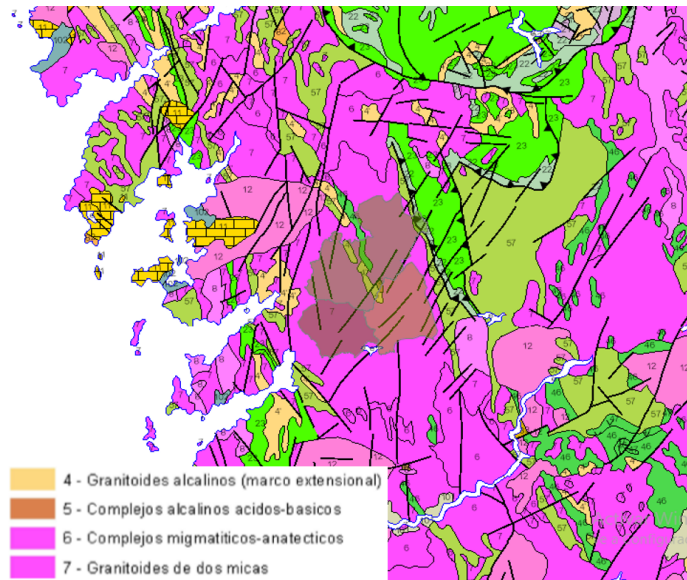


Figura 3-20 WMS de Geología insertado en gvSIG.

➤ Catastro:

Servidor de mapas web que nos facilitará la visualización en línea de los datos catastrales del territorio bajo la competencia del Catastro (territorio nacional excepto País Vasco y Navarra). La capa contiene los enlaces web al portal digital de catastro (Figura 3-21), el cual muestra todas las características de cada una de las zonas acotadas con la información de cada uno de sus inmuebles (referencia catastral, superficie total y superficie construida, tipo de construcción y uso, etc.). La sede electrónica del catastro permite una amplia difusión de sus datos mediante diferentes métodos: descarga de datos y cartografía por municipio, servicios web, consulta masiva de datos (a partir de un fichero de entrada en formato *Extensible Markup Language* (XML) que será generado fuera de línea) y datos estadísticos catastrales (por ejemplo: estadísticas tributarias del Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI)) [34].

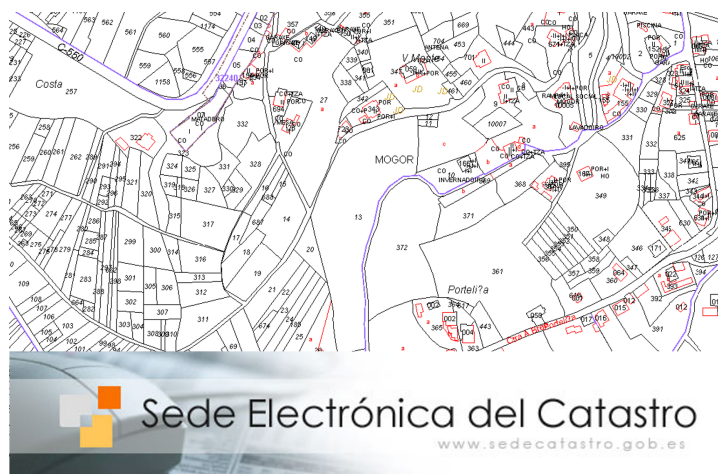


Figura 3-21 Sede electrónica del catastro [34].

### 3.3 Geoprocesamientos utilizados y filtros

El software utilizado en este TFG, el gvSIG, contiene una gama amplia de funciones y herramientas para procesar y relacionar toda la información geográfica introducida. Estas herramientas se denominan geoprocesos. Los más utilizados en este TFG serán los siguientes:

#### 3.3.1 Filtro

Se trata de una herramienta que permite la selección de determinados atributos de una capa temática cargada y exportar dicha información seleccionada a una nueva capa con el formato deseado (SHP, KML, DXF, etc.). En este análisis fue la primera herramienta que se utilizó para la selección de la zona de estudio a la hora de escoger los municipios que englobaban las operaciones a estudiar (ver Figura 3-2).

Generalmente, las capas temáticas descargadas de fuentes *online* son de ámbito general y referidas a toda la Península Ibérica o a una Comunidad Autónoma. Para la selección de ciertas provincias, regiones o municipios, esta herramienta resulta muy útil debido a que se seleccionan únicamente los campos que delimitan el ámbito de actuación y, posteriormente, se crea una nueva capa de trabajo incluyendo únicamente los objetos seleccionados.

Esta herramienta se hace muy necesaria en cualquier tipo de capa o de análisis en el momento que se desea crear una capa a partir de otra con determinados atributos. Como ejemplo, en la Figura 3-22 se observa cómo de la capa con los aeródromos de toda Galicia (color rojo) se seleccionan únicamente los que son helipuertos (resaltados en color amarillo).

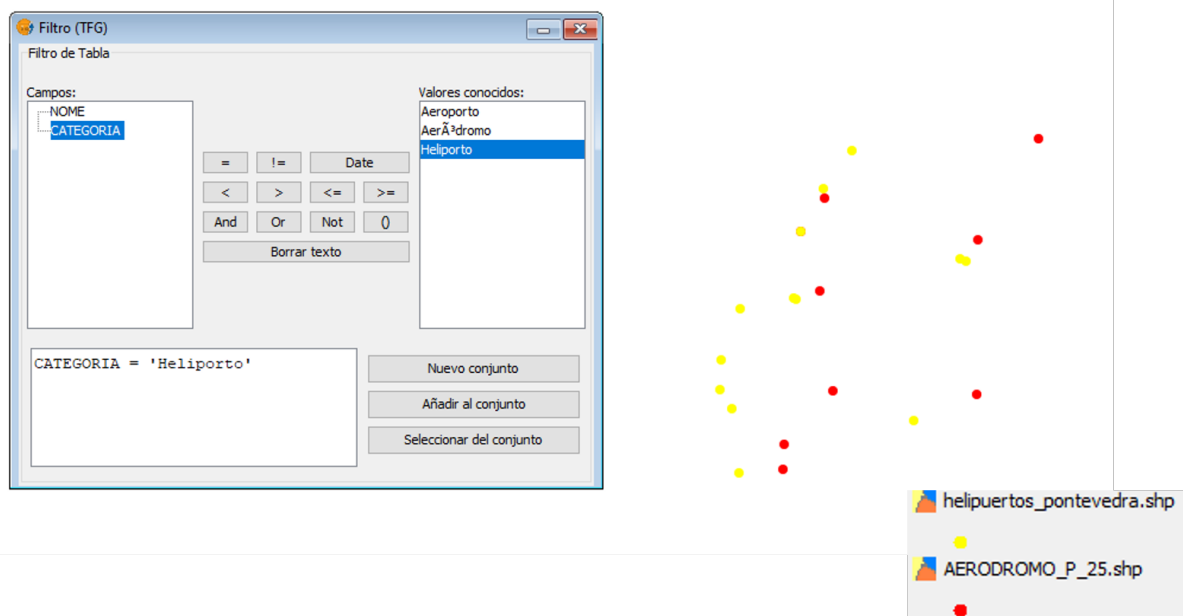


Figura 3-22 Selección de los helipuertos de Pontevedra mediante la herramienta de filtro.

#### 3.3.2 Capa de eventos

Se trata de una funcionalidad del software que nos permite insertar tablas de Excel con información temática y crear una capa tipo *shape* a partir de ella. En primer lugar, la tabla Excel a insertar se guardará como un archivo tipo .csv (delimitado por comas) para que este sea compatible con el software gvSIG.

Una vez se inicie la interfaz del software se seleccionará el icono de “insertar capa de eventos” escogiendo la tabla deseada y la opción de insertarla en la vista de trabajo mediante los valores de coordenadas X e Y de los elementos (objetos) de la tabla. Una vez importada la tabla “.csv”, esta se

exporta a formato “.shp”. De esta forma se consigue introducir bases de datos georreferenciadas en un trabajo SIG.

Un ejemplo en este TFG es el realizado para la inserción de los puntos topográficos en la definición de la zona de actuación. El archivo proporcionado de dichos puntos fue uno de tipo Excel en el que se mostraba las coordenadas X e Y de cada uno de los ellos, que se insertó en el proyecto SIG mediante la opción de capa de eventos.

### 3.3.3 Intersección

Se encuentra en el menú “Vista” dentro del apartado de “Gestor de Geoprocesos”. Es un geoproceso de análisis mediante solape de información que trabaja con dos capas: una de entrada y una de recorte. En la Figura 3-23 se muestra un ejemplo donde, a partir de la capa de entrada correspondiente a los aeródromos de la Comunidad Autónoma de Galicia y la capa de recorte referida a la Provincia de Pontevedra, se obtienen los aeródromos correspondientes a la Provincia de Pontevedra.

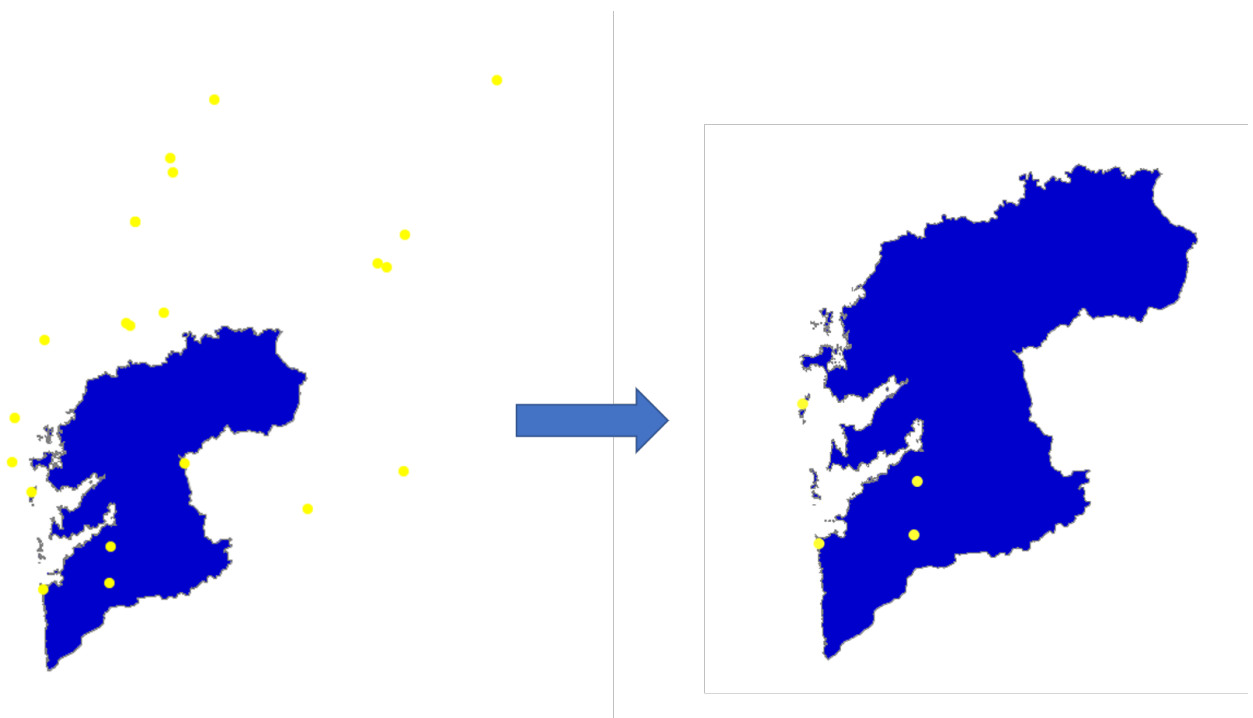


Figura 3-23 Geoproceso de Intersección.

### 3.3.4 Recortar

Se trata del segundo geoproceso de tipo solape que se utilizará en este trabajo, y funciona, al igual que el anteriormente expuesto, con dos capas: una de entrada, de la que se quiere extraer la zona, y otra de recorte, la cual definirá el ámbito de trabajo. Esta herramienta calculará todas las intersecciones de los elementos dentro del ámbito de trabajo seleccionado, y los que queden fuera serán recortados tal y como se muestra en la Figura 3-24. Cabe reseñar que el esquema alfanumérico de la capa de entrada se mantiene intacto.

Este geoproceso puede ser de gran utilidad cuando se necesite limitar la zona de estudio a otra más concreta en detalle. Como se puede observar en la siguiente figura, insertando las curvas de nivel para toda la zona de estudio no se consigue el detalle necesario para analizar el producto, por lo tanto, se lleva a cabo un recorte más en detalle para que centrar el análisis.



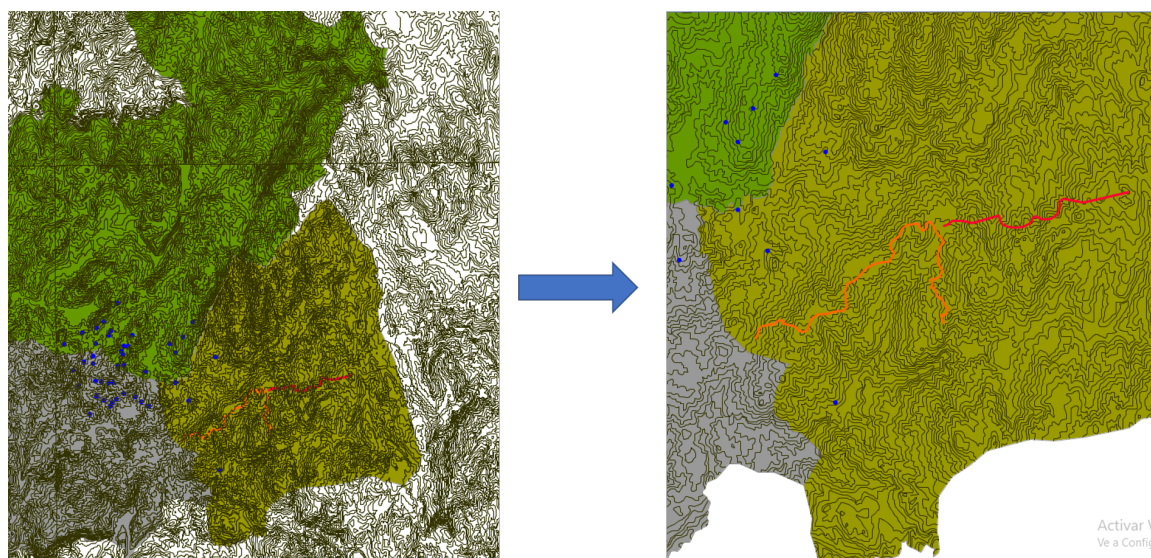


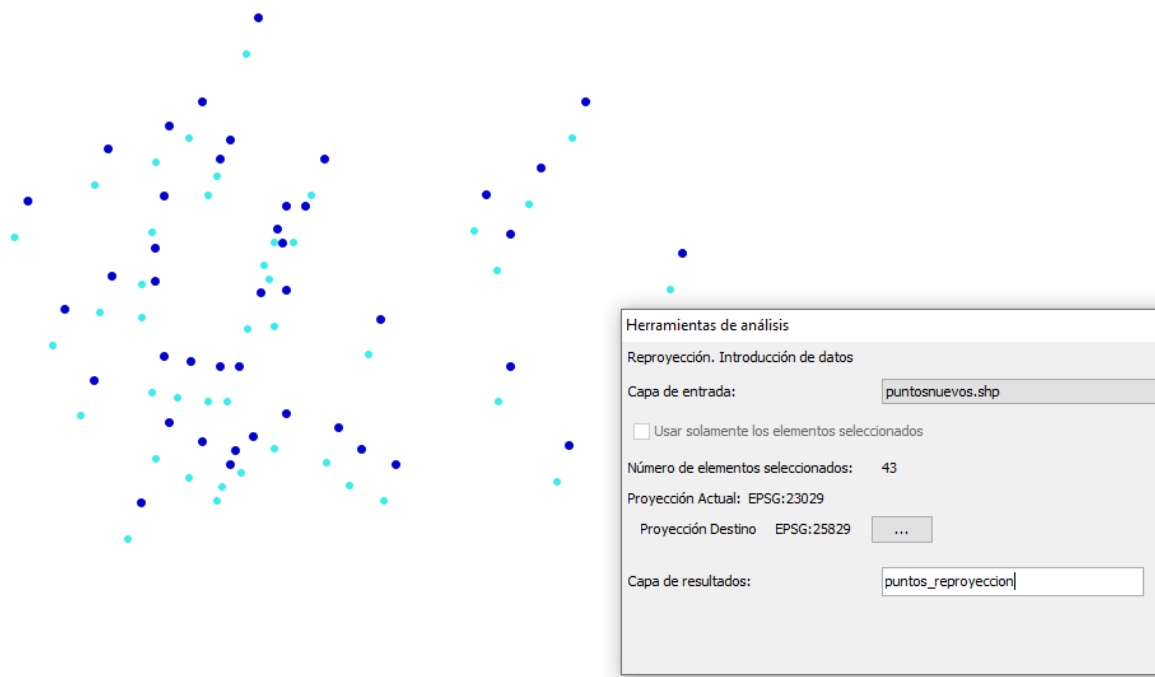
Figura 3-24 Geoproceso de Recortar.

### 3.3.5 Reproyectar

Este geoproceso de tipo “Conversión de Datos” permite cambiar el sistema de referencia utilizado en una capa temática a otro requerido para una determinada vista de un proyecto, de forma que se puedan solapar espacialmente las distintas capas de trabajo. Es decir, esta herramienta permite cambiar la proyección geodésica de los elementos vectoriales de la capa de entrada. Para ello el usuario deberá escoger la nueva proyección a aplicar.

En el presente TFG, los puntos topográficos y las rutas obtenidas de la base de datos del Departamento de Infantería de Marina de la ENM fueron proporcionadas en el datum *European Datum 1950* (código ED50: 23029 para UTM zona 29N). Este Datum ya no es el oficial, siendo el oficial vigente el ETRS89. Por lo tanto, tal y como se puede observar en la Figura 3-25, mediante la operación de “reproyectar” fue posible representar dicha información espacial en el sistema de referencia actual, el datum *European Terrestrial Reference System 1989* (código ETRS89: 25829 para UTM zona 29N). En dicha figura se pueden observar en un tono cian claro la capa inicial de puntos georreferenciada al Datum ED50 y en tono azul oscuro la obtenida tras su reproyección al sistema geográfico de referencia ETRS89. De este modo, se puede comprobar que el error que se produciría con la inserción de dichos puntos en un sistema de referencia erróneo es de aproximadamente 200 m.

Reseñar que en este geoproceso es necesario, además de elegir correctamente el CRS (*Coordinate Reference System*), seleccionar un tipo de transformación a la hora de escoger la proyección de destino. Para este análisis se ha llevado a cabo la transformación en “Rejilla formato NTv2”, la cual es la herramienta oficial para la transformación de datum entre ED50 y ETRS89 en España, avalada por el Grupo de Trabajo para la transición a ETRS89 formado por todas las Comunidades Autónomas y los Ministerios de Fomento (IGN) y Defensa [35].



**Figura 3-25 Geoprocesamiento de Reproyectar.**

### *3.3.6 Área de Influencia*

Este geoproceso pertenece a los de tipo de análisis por proximidad, y se emplea para ver relaciones de distancias entre diferentes atributos, como por ejemplo para averiguar cuántos aeródromos existen alrededor de un núcleo urbano. Esta herramienta geográfica crea una nueva capa de polígonos indicando una zona de influencia alrededor de la capa de entrada. El tamaño de los nuevos polígonos se ajustará a la distancia radial que haya introducido el usuario en la interfaz de configuración del geoproceso.

Son varias las posibilidades de análisis que nos ofrece esta herramienta. En primer lugar, nos permite definir el área de influencia por una distancia o por un campo, en segundo lugar, en caso de tratar con polígonos, permite crear el área de influencia dentro o fuera de ellos. Por último, permite seleccionar el número de anillos concéntricos deseados en la capa de resultados.

Por ejemplo, tal y como se muestra en la Figura 3-26, mediante esta herramienta se podrían hallar cuáles son los núcleos de población que se encuentran en un radio de 1 km de los aeródromos localizados en la Provincia de Pontevedra.

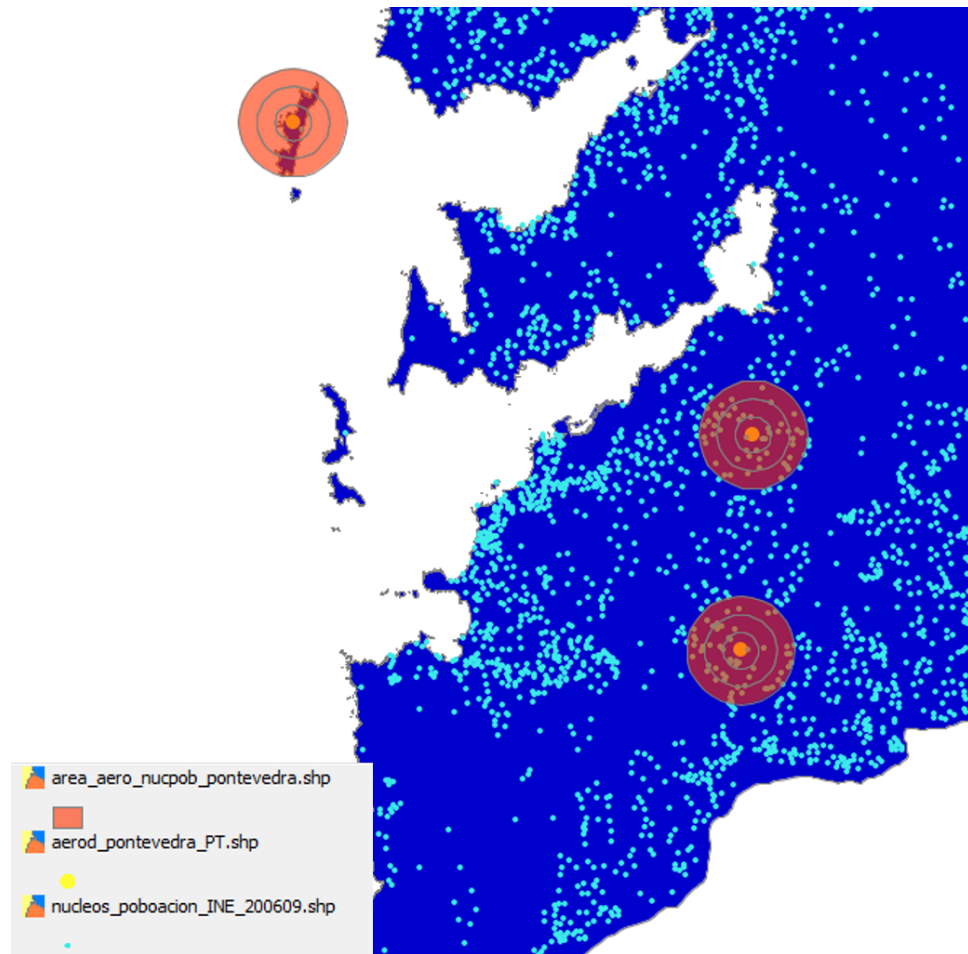


Figura 3-26 Geoproceso de Área de influencia.

### 3.3.7 *Envoltura Convexa*

Geoproceso de análisis del tipo de geometría computacional. Herramienta que ofrece el gestor de geoproceso y que envuelve los elementos vectoriales de una capa de entrada en el polígono convexo de menor área (Figura 3-27). El tipo de geometría de dicha capa de entrada puede ser de cualquier tipo.

Las aplicaciones de esta funcionalidad pueden ser de diferentes tipos: determinar una zona de cobertura de un determinado fenómeno geográfico, calcular el diámetro de la zona cubierta por una serie de geometrías, etc.

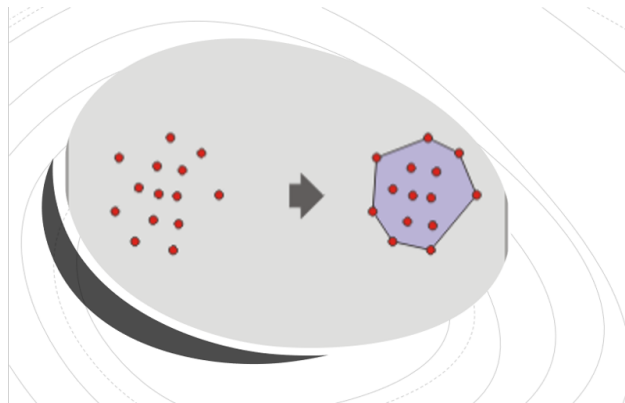


Figura 3-27 Geoproceso de Envoltura Convexa.





## 4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

### 4.1 Análisis SIG

En este apartado se analizan los aspectos del terreno desde un punto de vista técnico-militar del planeamiento de una misión. Para ello, los aspectos se han analizado teniendo en cuenta, por un lado, aquellos que suponen una ventaja para la movilidad de las tropas y, por otro lado, aquellos que en cambio podrían suponer un obstáculo frente a las tropas enemigas.

#### *4.1.1 Puntos y zonas estratégicas*

##### **4.1.1.1 Hidrografía**

Un factor importante para tener en cuenta para la realización de ejercicios militares es la hidrografía, tanto para el abastecimiento de las tropas, en el caso de que la operación vaya a sostenerse en el tiempo, como para el avance de la fuerza por los diferentes itinerarios. Los diferentes cursos de agua podrán suponer a las fuerzas propias obstáculos necesarios de sobrepasar, pero también aportarán ciertas ventajas a la hora de mantener la sorpresa en acciones decisivas.

En primer lugar, insertamos en la vista de trabajo la capa de embalses de la Comunidad Autónoma de Galicia y observamos que en la zona de acción propuesta el único embalse presente es el Embalse de Eiras al Sur en el municipio de Ponte Caldelas (Figura 4-1). En caso de necesitar sostenimiento de agua dulce en la zona de acción, por una ampliación de la duración de las operaciones en esta, el embalse localizado a unos 9 km en distancia reducida supondrá la principal fuente del recurso.

Otro aspecto que juega a favor de las fuerzas propias es la ocultación que proporciona a la hora de mantener la disciplina del ruido. Por ejemplo, una patrulla lanzada para realizar una operación crítica, para mantener la sorpresa y no ser localizados por el enemigo, tratará en la medida de lo posible planear sus itinerarios en inmediaciones de los diferentes ríos para que los cauces de estos oculten el ruido producido por las tropas en su avance.

Para averiguar la cercanía de los ríos a ambas rutas planteadas en este estudio se utilizará el geoproceto explicado anteriormente de zona de influencia o buffer con un parámetro introducido de 20 metros de distancia radial a las rutas planeadas. Como se puede observar en la Figura 4-2, la ruta X prácticamente solo posee cercanía a ríos en sus puntos de cruce por estos y la ruta Y en su tramo final de orientación norte-sur sí que atraviesa ciertas zonas más cercanas a cauces de ríos.

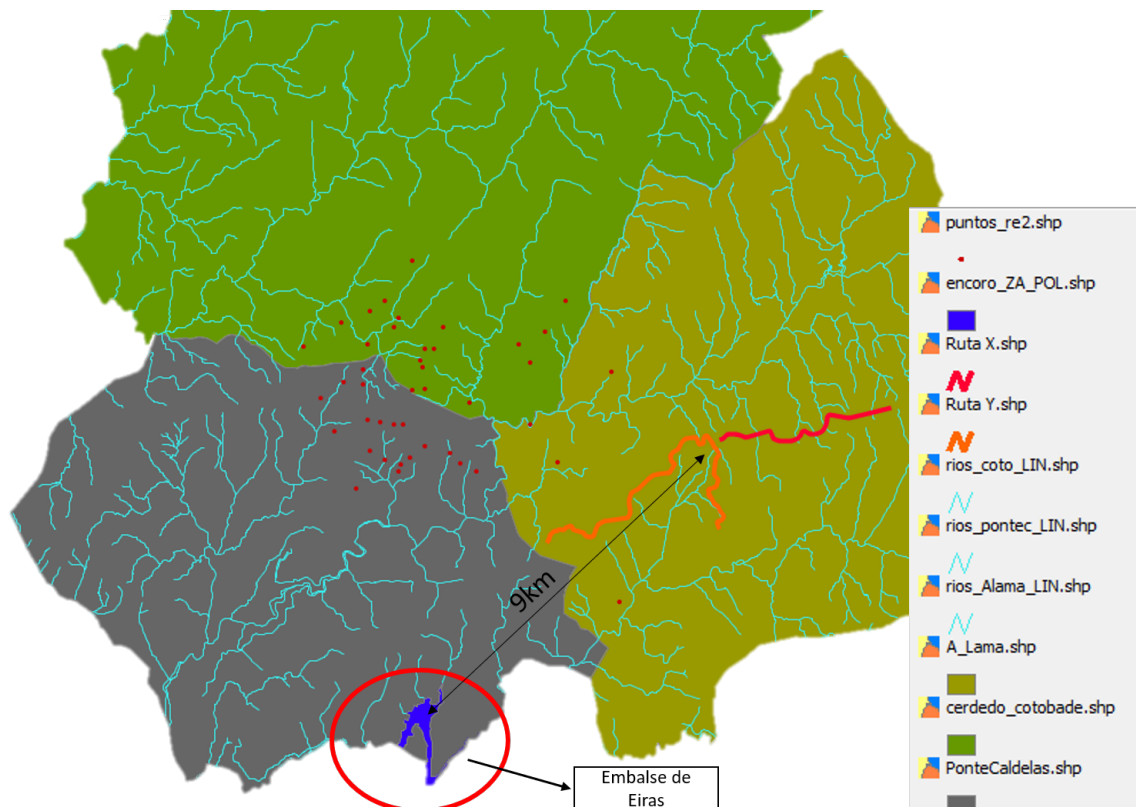


Figura 4-1 Localización del embalse de Eiras en ZA.

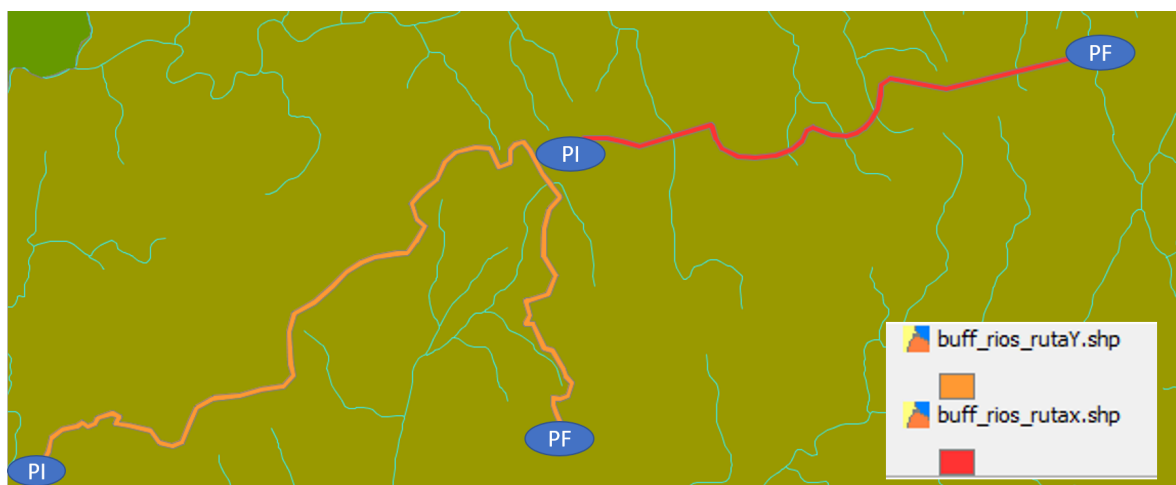


Figura 4-2 Buffer de las rutas X e Y.

#### 4.1.1.2 Relieve del terreno

Otro aspecto clave del terreno de especial relevancia para las operaciones militares es el relieve. En ciertas situaciones del combate conviene situarse en pendiente o en contrapendiente, dependiendo del cometido asignado y del despliegue enemigo. Este factor nos ayudará a escoger rutas principales y secundarias en función del tiempo disponible y el nivel de riesgo asumible por las fuerzas propias frente al enemigo en la zona. Además, hallando los perfiles correspondientes a cada una de ellas será posible calcular el tiempo requerido estimado y, por consiguiente, el ritmo a llevar por las fuerzas propias.

Como se muestra en la Figura 4-3, a través de la conversión de un modelo digital del terreno insertado en gvSIG se ha obtenido la capa de curvas de nivel de la zona de estudio.

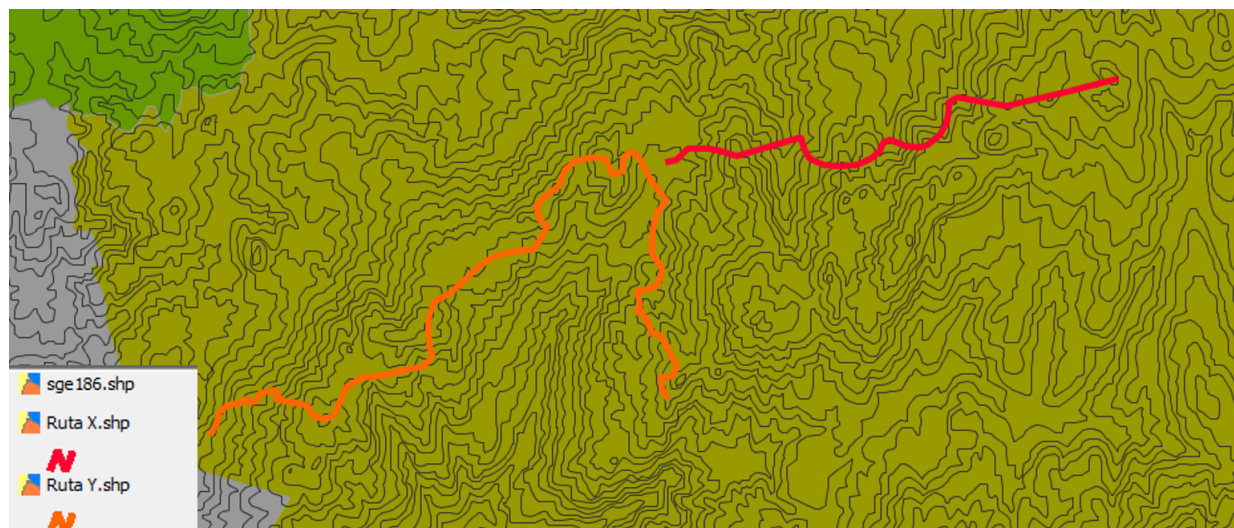


Figura 4-3 Curvas de nivel para las rutas X e Y.

#### 4.1.1.3 Tipo de suelo

La composición del suelo de la zona de acción, en la cual opere una unidad militar, es un factor clave que marcará la diferencia debido a que dictaminará el tiempo que puedan llevar las tropas por el campo de batalla. Es cierto que los soldados en todo momento desearán saber por qué tipo de superficie van a avanzar, si se trata de un suelo rocoso, fangoso o resbaladizo, pero también habrá que tener en cuenta el factor más limitante de la movilidad por el campo, los vehículos sobre ruedas. Al fin y al cabo, un hombre puede avanzar por donde se lo proponga, pero un *Hammer Shelter* o un vehículo de combate tipo Piraña no podrán asumir el quedarse inmovilizado en ciertas situaciones del combate.

Como bien podemos observar en la Figura 4-4, el suelo predominante en la zona de acción para ambas rutas y la zona de ejercicios topográficos estudiados es de granito. Por lo tanto, el suelo será apto para medios vehiculares y fácil para el avance a pie de la infantería ligera.

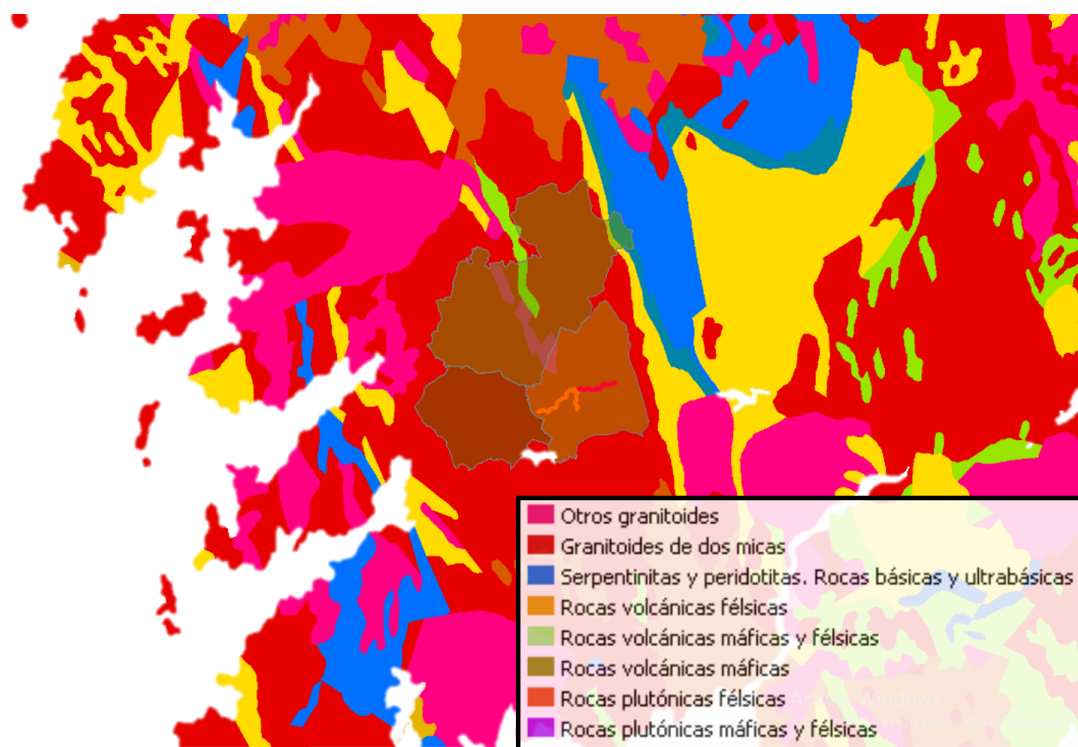


Figura 4-4 Litología de la ZA.

#### 4.1.1.4 Vegetación

El tipo de vegetación y la densidad de esta en la zona de estudio son los dos aspectos principales en los que indagar a la hora de estudiar el terreno desde el punto de vista de este factor. Ambos son dos características que van muy de la mano, ya que ciertos tipos de especies arbóreas tienden a ser mucho más densas que otras.

Analizando los usos del suelo para la zona de actuación (Figura 4-5) podemos observar que ambas rutas poseen en gran parte de su recorrido territorio rocoso y con arbustos. Aun así, se diferencia un pequeño tramo de especies caducifolias en la primera mitad de la ruta X y, por otro lado, en la ruta Y se puede hallar tramos minúsculos de mezcla de especies arbóreas en su comienzo y una cierta predominancia de eucaliptos y coníferas.

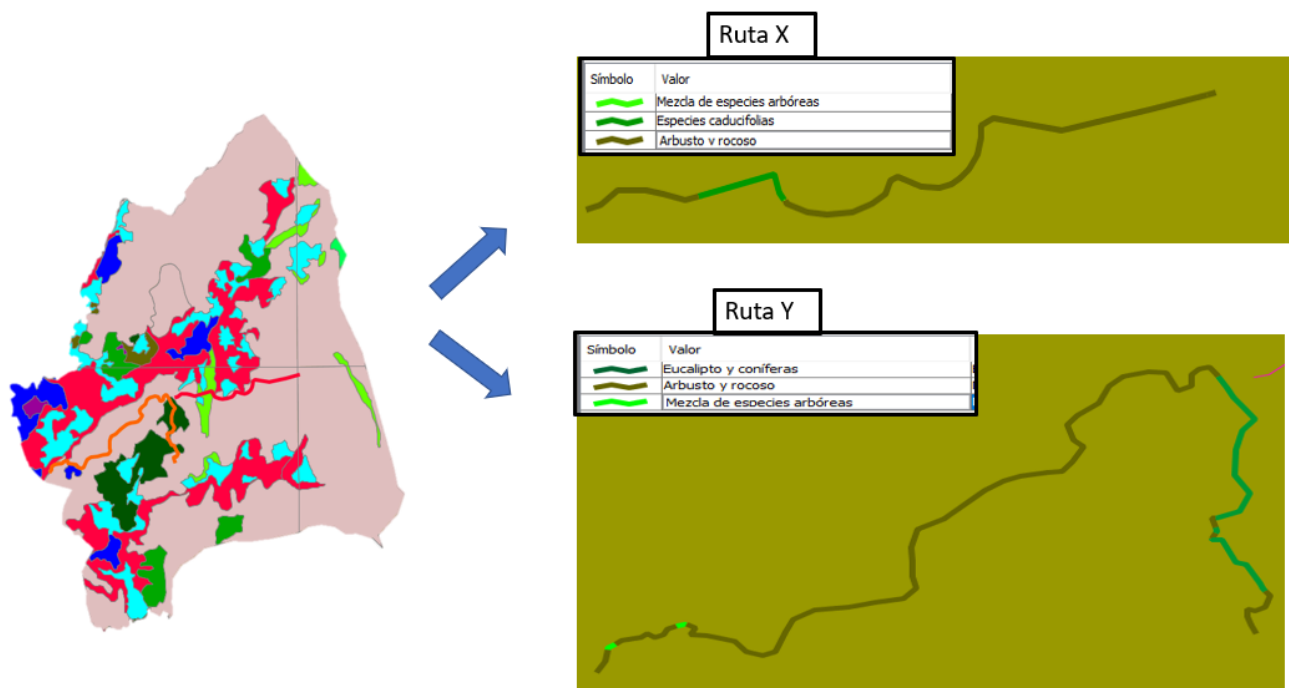


Figura 4-5 Usos del suelo en las rutas X e Y.

Con el fin de añadir más información sobre la cobertura vegetal que se pueden encontrar las fuerzas a lo largo de sus itinerarios, se inserta en la vista de trabajo del proyecto el Inventario Forestal Nacional para la zona de estudio y se obtienen los siguientes resultados reflejados en la Figura 4-6. Centrándose en el tipo de bosque que presentan dichas rutas obtenemos: la ruta X únicamente se topa con bosque frondoso en la primera mitad de su recorrido, mientras que la ruta Y en su primera mitad posee partes en tipo de bosque mixto y su parte final es mayoritariamente bosque de tipo frondoso y de coníferas.

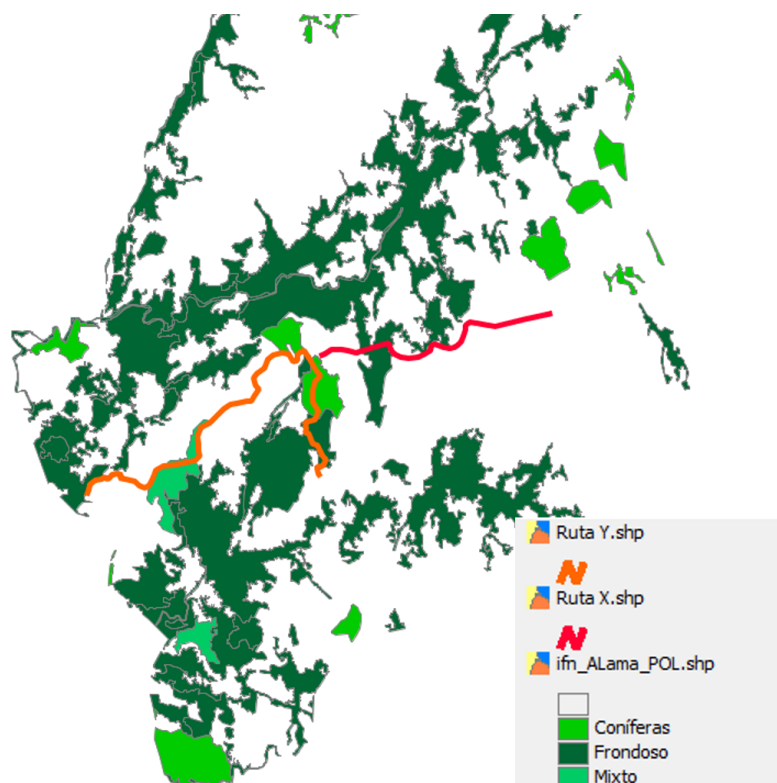


Figura 4-6 Tipos de bosque en las rutas X e Y.

#### 4.1.1.5 Obras artificiales

##### ➤ Aeródromos:

Para la realización de operaciones militares existen ciertos emplazamientos cuyo control y ocupación proporcionan una serie de ventajas importantes en el transcurso de las operaciones. Una obra de especial interés para los medios aéreos utilizados como vectores de inserción y extracción de tropas o de apoyo de fuegos aéreo son los aeródromos. La posesión por fuerzas propias de un recurso tan crítico como son los aeródromos ya construidos puede repercutir muy seriamente en el cumplimiento de la misión. Además, proporcionan una de las vías más rápidas a la hora de mitigar contingencias que puedan ir surgiendo a lo largo de la operación.

Para ubicar los aeródromos más cercanos a nuestras rutas estudiadas insertaremos la capa de aeródromos de Galicia, obtenida del portal de descargas de la Xunta, y se realizará en primer lugar el geoproceso de intersección entre las capas a analizar y, posteriormente, se llevará a cabo el referente a una zona de influencia para obtener a qué distancia se encontrará la fuerza de dicho recurso.

Como se puede observar en la Figura 4-7 y Figura 4-8, el aeródromo más próximo que puede cumplir alguna de las funciones mencionadas anteriormente en operaciones es el aeródromo de Beariz, ubicado al Noreste de ambas rutas. Para la zona de influencia de la ruta X se ha aplicado una distancia concéntrica de 2 km de los anillos, por lo que se identifica que dicho aeródromo se encuentra a unos 4,5 km en distancia reducida. En el caso de la ruta Y se ha aplicado una distancia de 3 km concéntrica de los anillos y se observa que el aeródromo se sitúa a unos 8 km en distancia reducida de ella.

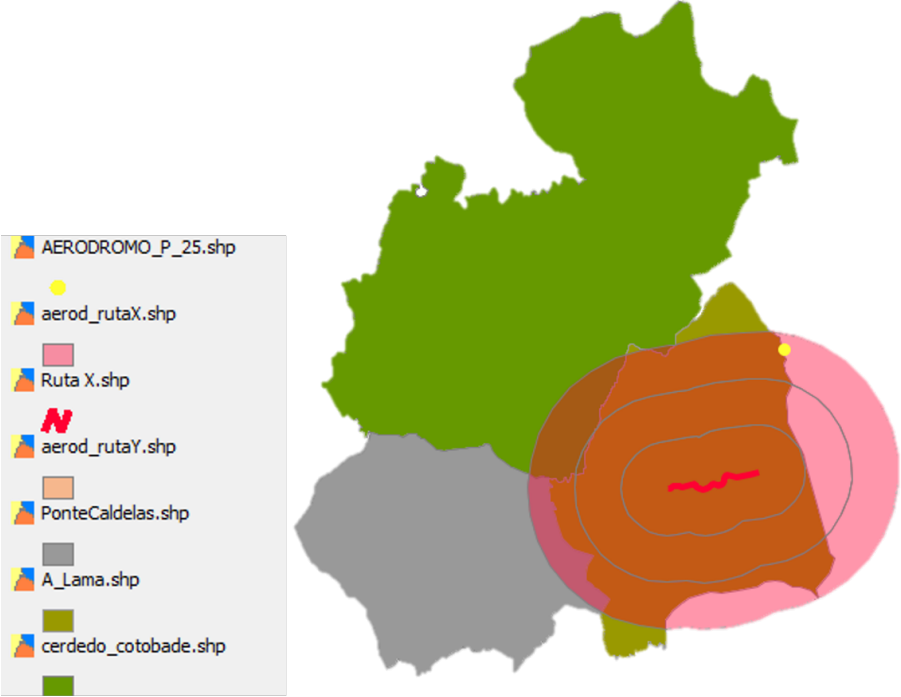


Figura 4-7 Aeródromo próximo a la Ruta X.

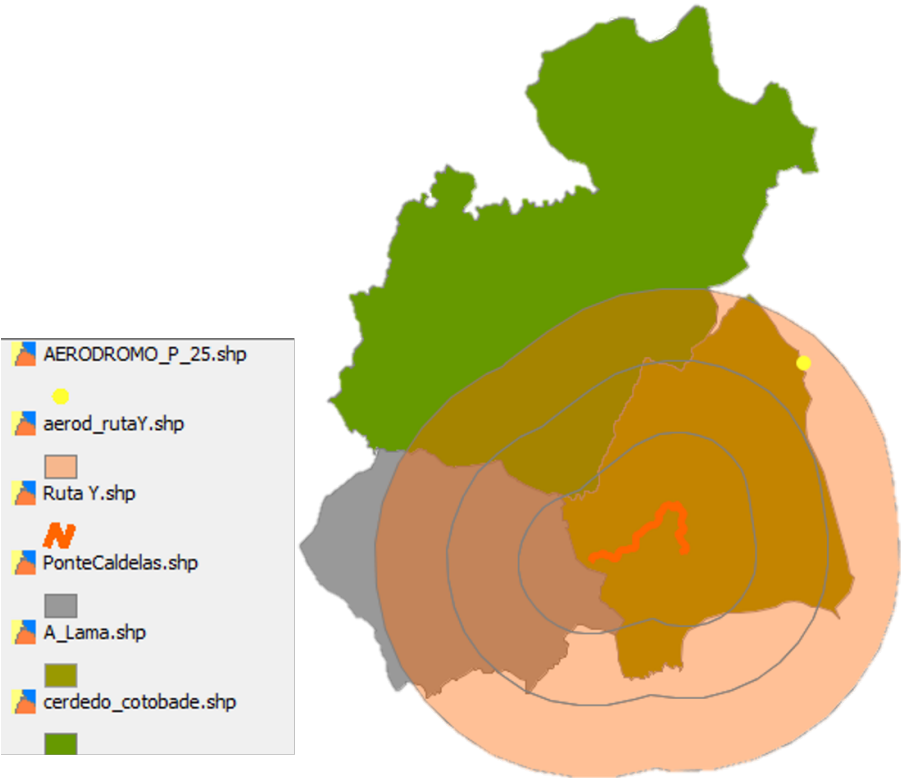


Figura 4-8 Aeródromo próximo a la Ruta Y.



➤ Carreteras:

Este tipo de obra artificial puede suponer una gran ventaja desde el punto de vista de la movilidad. En el caso de que las unidades tengan el control de dichas infraestructuras mediante su monitorización y presencia, estas podrán ser utilizadas para diferentes cometidos, como pueden ser el apoyo de una reserva o QRF (*Quick Reaction Force*) mecanizada o el apoyo recibido por el tren logístico motorizado durante el transcurso de la operación.

Para el análisis de este tipo de infraestructura se introduce la capa temática que contiene las diferentes vías pertenecientes a la región de la Xunta de Galicia. Una vez solapada la zona de acción con dicha capa, mediante el geoproceso intersección, se podrá llevar a cabo un buffer de tipo de zona de influencia y analizar qué carreteras están a una determinada distancia de las rutas a seguir por las fuerzas propias.

Por ejemplo, la unidad superior determina que las tropas operando deberán ser capaces de recibir todo apoyo logístico en un radio de 1 km desde sus posiciones en las rutas planeadas. Para ello, se realiza el geoproceso de zona de influencia sobre ambas rutas, como se muestra en la Figura 4-9, y se obtienen las rutas válidas para dicho apoyo logístico mediante la intersección de las capas referentes a las rutas y el buffer realizado.

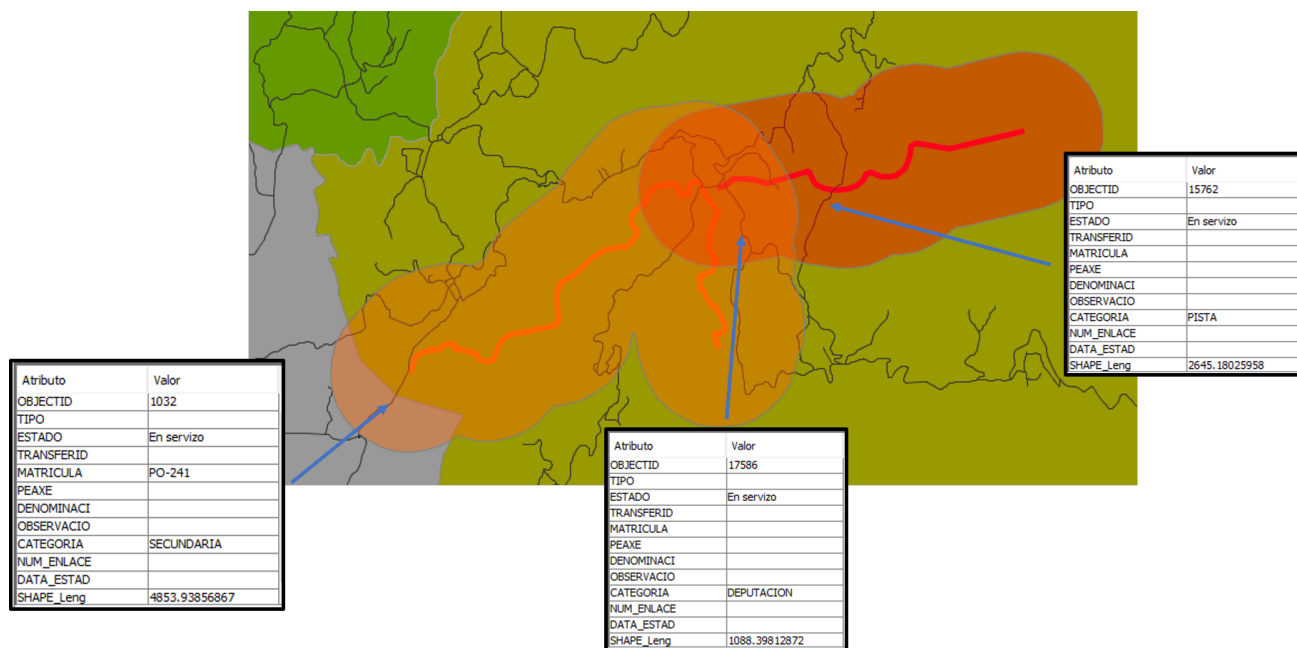


Figura 4-9 Vías aptas para el apoyo logístico durante las operaciones X e Y.

➤ Ferrocarril:

Con el fin de proporcionar apoyo logístico, transporte de tropas o incluso de evacuación de personal no combatiente, la red viaria de ferrocarril puede suponer una ventaja importante frente al enemigo. Puede tratarse de un recurso crítico en zonas en vías de desarrollo con poca infraestructura desarrollada. Por ello, para el sostenimiento y la movilidad de personal este tipo de infraestructura es un factor para estudiar en el proceso del análisis del terreno.

Como se puede observar en la Figura 4-10, para nuestras operaciones estudiadas no es un factor que vaya a marcar demasiada diferencia. Sin embargo, no podemos dejar pasar la ubicación del tramo Cerdedo-Barro al Norte de nuestros itinerarios planeados.

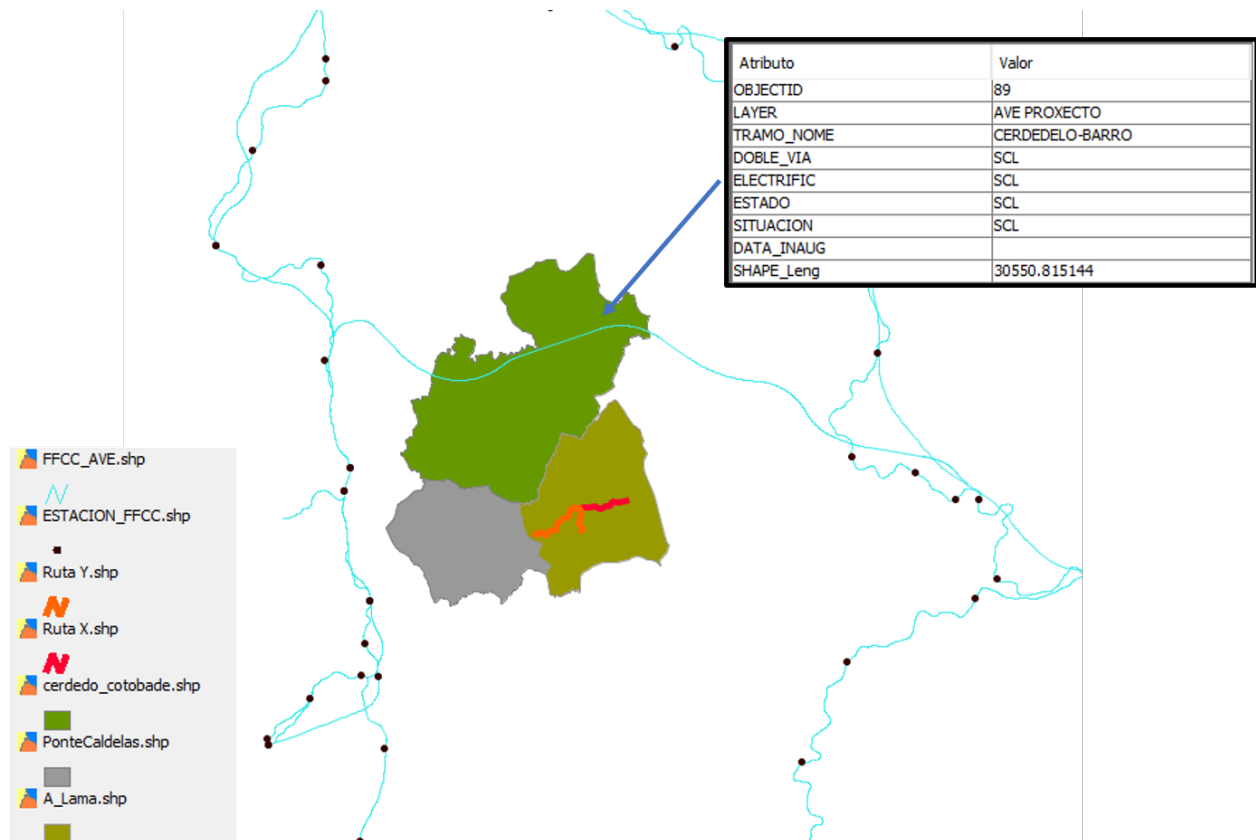


Figura 4-10 FFCC AVE en ZA.

### 4.1.2 Obstáculos para la maniobra

#### 4.1.2.1 Hidrografía

Hay que destacar que, para unidades de infantería ligera, como es el caso de la CIA de Alumnos de IM de la ENM, todo río es vadeable, pero a la hora de disponer de medios vehiculares mecanizados o acorazados es de especial relevancia saber si el río posee puntos de vadeo o no debido a sus características.

En cuanto a las rutas estudiadas en este análisis, como se puede observar en la Figura 4-11, por un lado, la Ruta X posee 5 cruces de río y la Ruta Y solamente 1 a lo largo de su recorrido. También se puede comprobar que la zona en su totalidad alberga una gran variedad de cauces de agua, por lo cual será prácticamente imposible planear un itinerario sin la necesidad de cruzar alguno de estos puntos críticos.

Además, todo cruce de ríos supondrá una zona en la cual la unidad será de algún modo más o menos vulnerable. Por lo tanto, aunque se trate de una unidad ligera, será necesario planear y llevar a cabo un cruce de zonas peligrosas de acuerdo con la doctrina vigente.



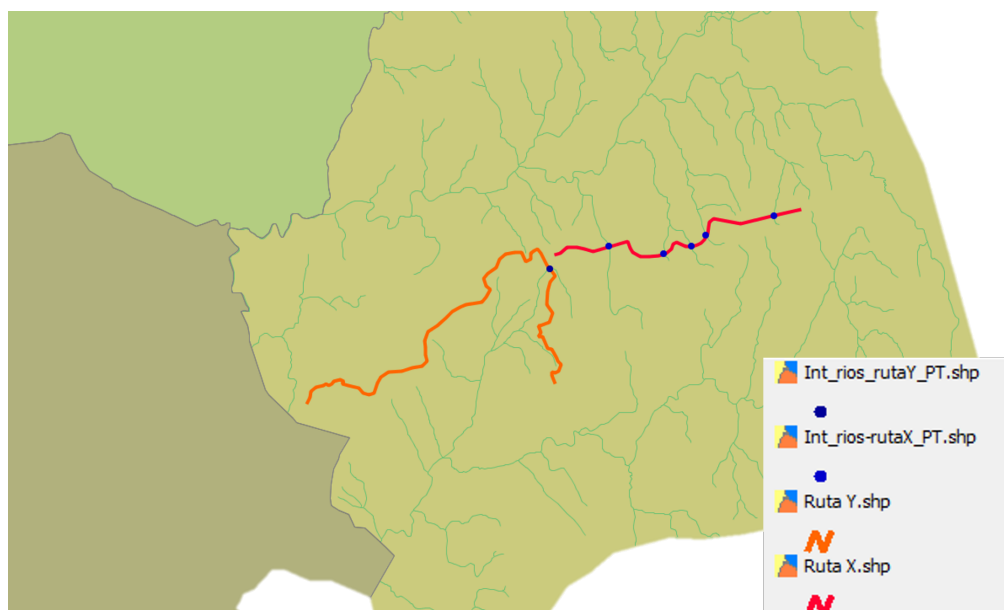


Figura 4-11 Cruce de ríos a lo largo de las rutas X e Y.

#### 4.1.2.2 Tipo de Suelo

Como ya se ha comprobado en el subapartado anterior, la litología presente en las zonas de estudio es apta para la maniobra tanto vehicular como de tropas a pie. Sin embargo, nada se sabe de si ciertas zonas están bajo protección especial para su conservación. Por ello, se inserta en la vista de trabajo la información proporcionada por la Red Natura 2000 con el fin de averiguar si durante el transcurso de las operaciones será necesario tener ciertas precauciones y consideraciones con el terreno cruzado por la unidad militar. Como se puede observar en la Figura 4-12, las principales Zonas de Especial Conservación (ZEC) se dan al Norte de ambas rutas. Estas ZEC se encuentran a menos de 500 m de ambas de las rutas en determinados puntos, por lo que habrá que planear escrupulosamente el paso de las tropas por dichos puntos.

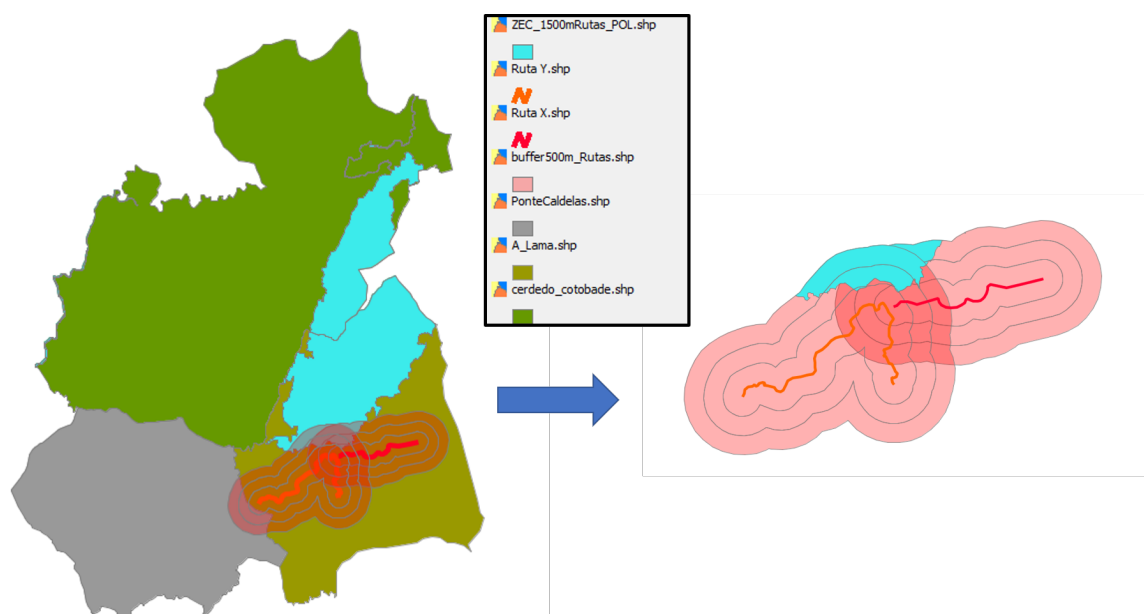


Figura 4-12 ZEC influyente en las rutas X e Y.

En el caso de la zona de ejercicios topográficos (Figura 4-13), se hallan zonas críticas en torno al vértice Este del polígono estudiado. Se localiza únicamente un punto crítico (vértice Este del polígono) en la nube de puntos estudiada. El punto se encuentra sobre una ZEC, y además sus inmediaciones al Sur, Este y Norte también son zonas protegidas. Por lo tanto, será necesario informar al personal que vaya a patrullar por dicha zona conflictiva con este tipo de coberturas.

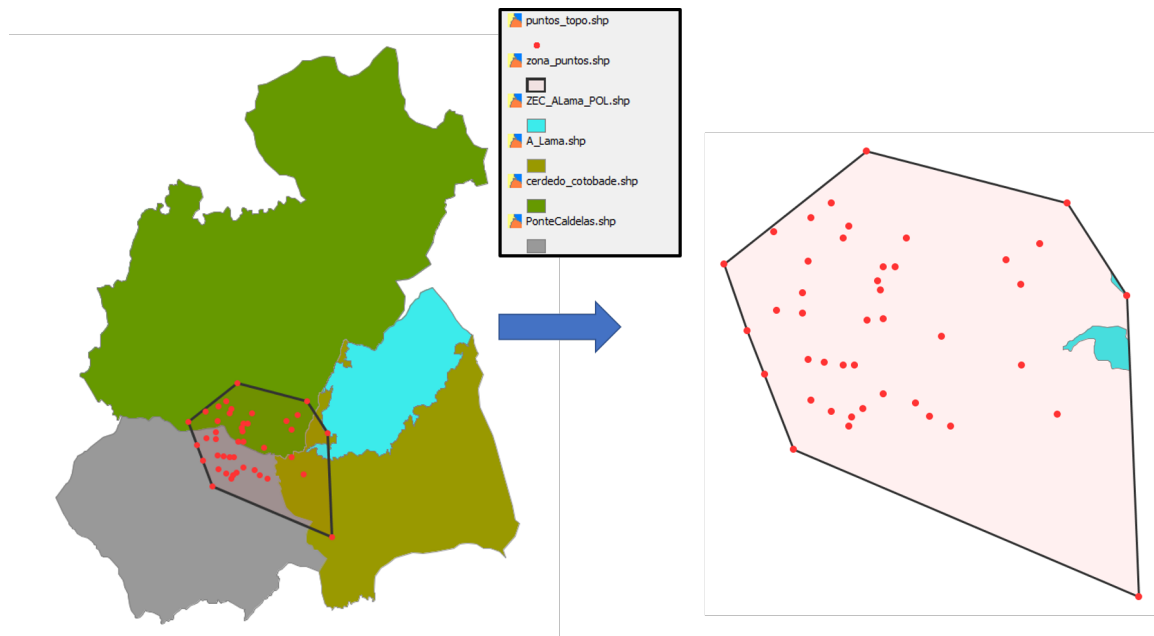


Figura 4-13 ZEC en zona de ejercicios topográficos.

#### 4.1.2.3 Vegetación

Desde el punto de vista de las operaciones militares, la vegetación está considerada un elemento clave para la ocultación por su enmascaramiento natural que puede proporcionar a las fuerzas propias. Insertando la capa de densidad de vegetación en la vista de trabajo (Figura 4-14), se observa que las zonas en la ZA son arboladas (más del 20% de la superficie), arbolado ralo (entre un 5% y un 20% de la superficie), desarbolado (menos de un 5% de la superficie), cultivos o artificiales. Tras su estudio se pueden identificar ciertas carencias de este factor a lo largo de ambas rutas. En ambos casos existen tramos arbolados, pero también muchos de ellos desarbolados, lo cual significa que las tropas estarán sin ocultación en numerosas ocasiones.

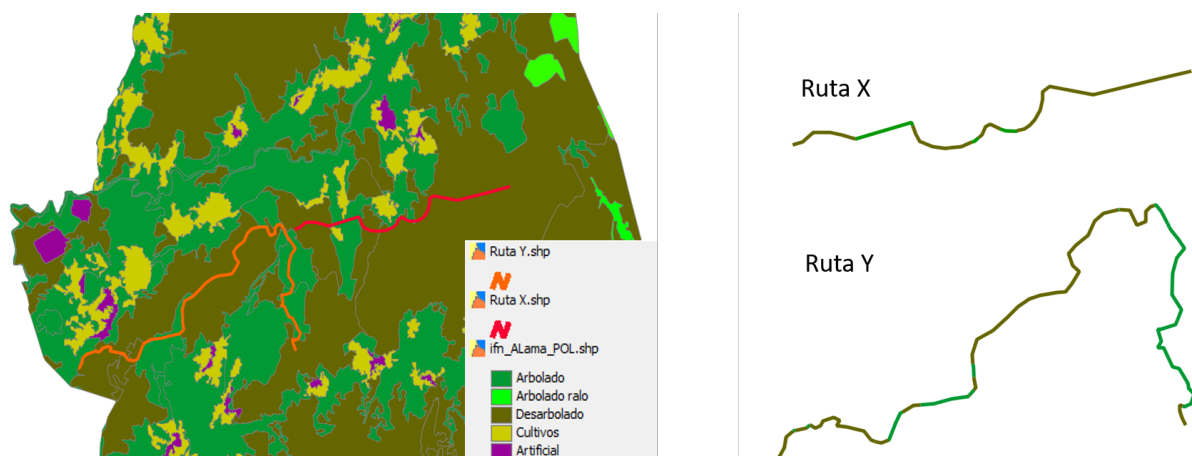


Figura 4-14 Densidad de vegetación en las rutas X e Y.

En el caso de los ejercicios topográficos, como se puede observar en la Figura 4-15, se identifica la zona mayoritariamente arbolada, por lo que el planeamiento de los itinerarios para lograr la consecución de los puntos deberá ser minucioso y detallado.

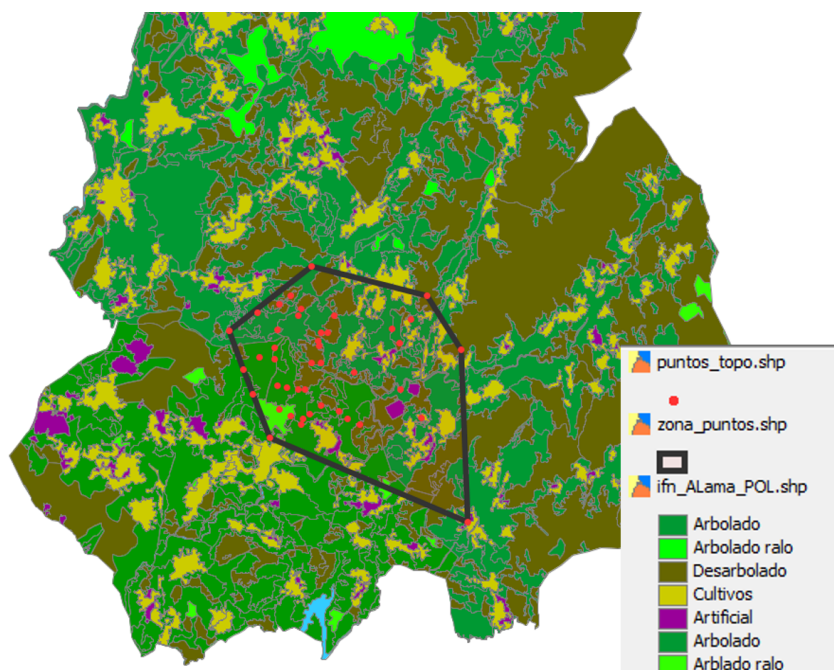


Figura 4-15 Densidad de vegetación en recorridos topográficos.

#### 4.1.2.4 Obras Artificiales

##### ➤ Carreteras:

Ciertas infraestructuras elaboradas por la mano de obra son un incordio para cierto tipo de operaciones militares, como por ejemplo pueden llegar a ser las carreteras asfaltadas. Desde el punto de vista de la ocultación de las fuerzas propias, el cruzar una carretera o camino de tierra, el cual pueda suponer una avenida de aproximación para el enemigo, supone un riesgo a mitigar por parte de las unidades. En dichos casos, la forma de operar será la de aplicar las técnicas y procedimientos establecidos para el cruce de una zona peligrosa, el cual llevará un tiempo y esfuerzo adicional al llano recorrido de los itinerarios establecidos.

Por lo tanto, mediante el uso de la herramienta de intersección, se calculará dónde a lo largo de las rutas X e Y se van a tener que realizar cruces de zonas peligrosas. Seleccionando el icono de “Información” en la barra de herramientas se puede pinchar sobre cada uno de estos cruces de vías de comunicación con los itinerarios estudiados, y se abre un cuadro de diálogo con la información temática de la capa, que nos indicará, entre otros aspectos, de qué tipo de carretera principal (autovía o autopista), secundaria (carretera nacional o ruta asfaltada) o pista se trata (Figura 4-16).

En el caso de la ruta X se obtienen tres intersecciones a lo largo del itinerario donde las unidades deberán realizar un cruce de zonas peligrosas. El primer cruce se trata de una vía en servicio activo de la diputación del municipio asfaltada, la segunda intersección consiste en una vía la cual cae en la categoría de “otras carreteras”, por lo que se trata de un camino asfaltado de poca entidad y, por último, el tercer cruce coincide con una pista de tierra. Reseñar que las tres intersecciones se producen en la primera mitad del recorrido, lo cual es beneficioso para la acción en el objetivo, debido a que cerca de él, las tropas no se expondrán bajo circunstancias como las anteriores.

Por otro lado, en la ruta Y sólo se identifica un cruce con este tipo de vías de comunicación. Se da el caso justo cuando el itinerario cambia su orientación sureste-noreste a norte-sur, y se trata de una pista

de tierra en servicio de dimensiones significativas. Además, se puede observar que el cruce de zonas peligrosas a realizar por la fuerza está bastante cercano a un cruce múltiple de carreteras y pistas al Noreste, por lo que habrá que extremar medidas de coordinación y seguridad.

Por último, en el caso del ejercicio de topografía de la CIA de Alumnos de IM, también se puede obtener, del mismo modo, información sobre el tipo y características que poseen las principales vías de comunicación presentes en la zona (Figura 4-17). Esta información será útil a la hora del ejercicio, tanto para los alumnos como para los profesores, debido a la normativa restrictiva que existe sobre la utilización de este tipo de vías en ejercicios topográficos especificados en las instrucciones permanentes de prácticas de campo del departamento nº 4 de la ENM que dicen así: “los alumnos no podrán hacer uso de vías asfaltadas a no ser que no vayan a cumplir la hora de llegada especificada y las pistas de tierra serán utilizadas con ciertas consideraciones”.

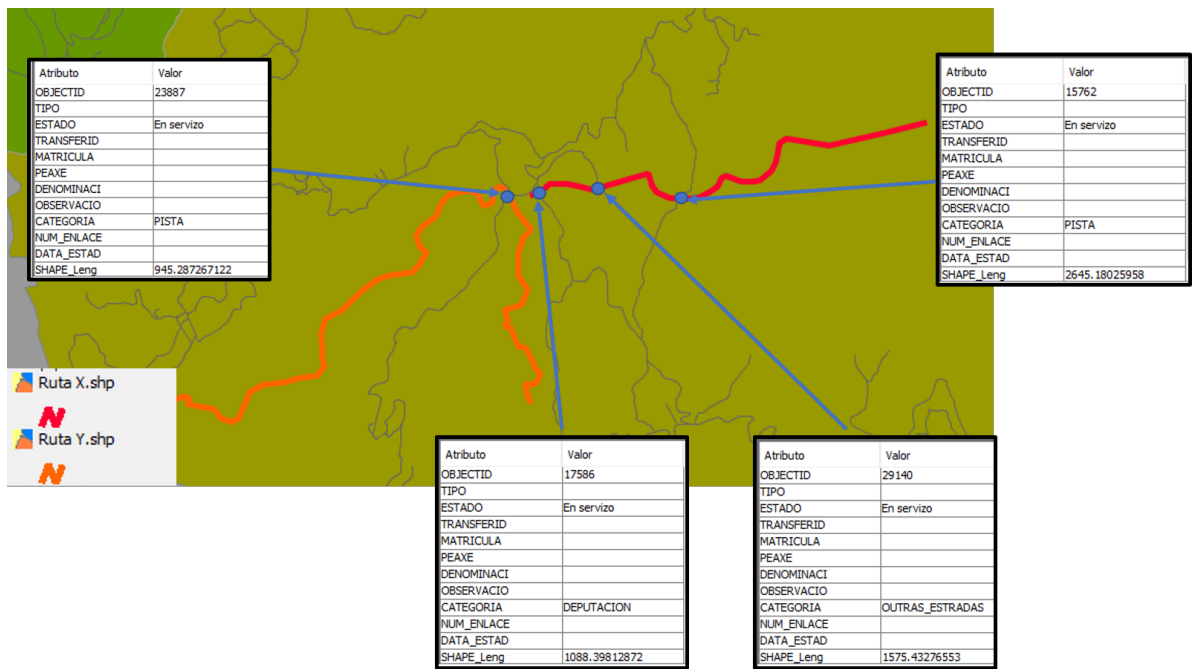


Figura 4-16 Cruce de las rutas X e Y con diferentes vías de comunicación.

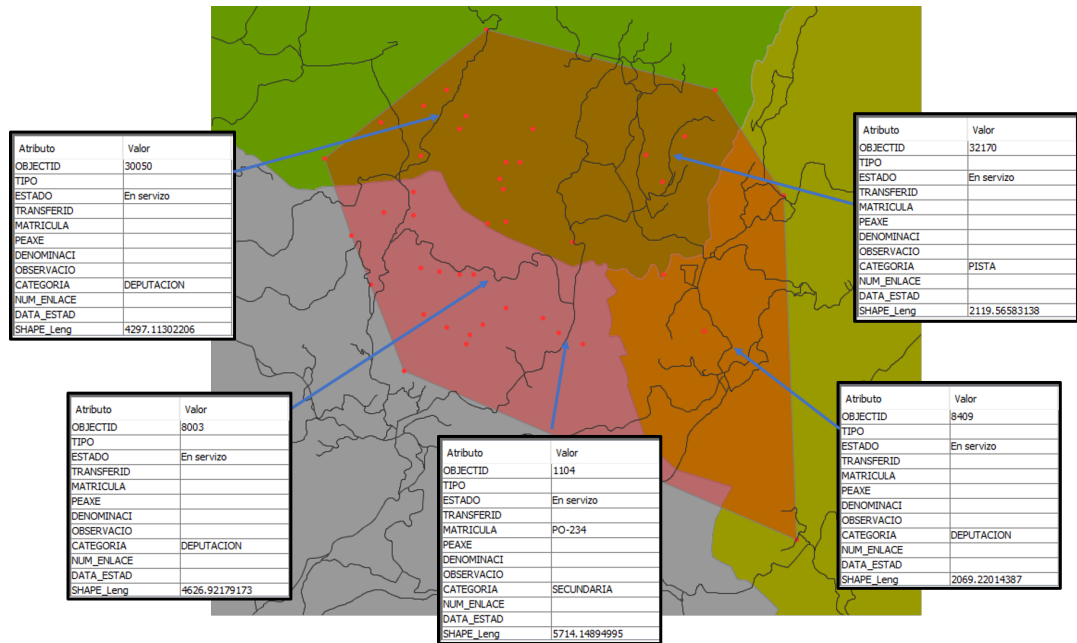


Figura 4-17 Principales vías de comunicación en la zona de ejercicios topográficos.

➤ Núcleos de población:

A la hora de llevar a cabo un ejercicio, como los ejecutados mediante las rutas X e Y, la presencia de núcleos de población siempre es un factor limitante. En operaciones donde la sorpresa y la rapidez se consideren factores clave del éxito, habrá que equilibrar la balanza de manera adecuada entre poner o no en riesgo a las tropas y la rapidez requerida para el cumplimiento de la población.

De todas formas, en el planeamiento de todo itinerario para la aproximación a un objetivo determinado en operaciones del tipo planteado, la presencia de demasiados núcleos de población es un factor que restringe bastante la maniobra. Incluso cuando no existe un gran número de ellos, siempre se darán cometidos de tener estas zonas de población bajo supervisión, con el fin de proporcionar alerta temprana sobre acciones de la población local.

Por lo tanto, como se observa en la Figura 4-18, se ha llevado a cabo un buffer sobre ambas rutas de estudio con una distancia radial de 500 m añadiéndole 3 anillos concéntricos, los cuales proporcionarán el área de influencia hasta una distancia radial de 1500 m. De esta forma, mediante la intersección de las capas introducidas, se identificarán los núcleos de población de menos a más críticos según el criterio establecido.

En el caso de los ejercicios topográficos, como se muestra en la Figura 4-19, existen un gran número de núcleos habitados por la zona, lo que significará restringirá los itinerarios a llevar a cabo y los alumnos se deberán acoplar a dichas circunstancias.

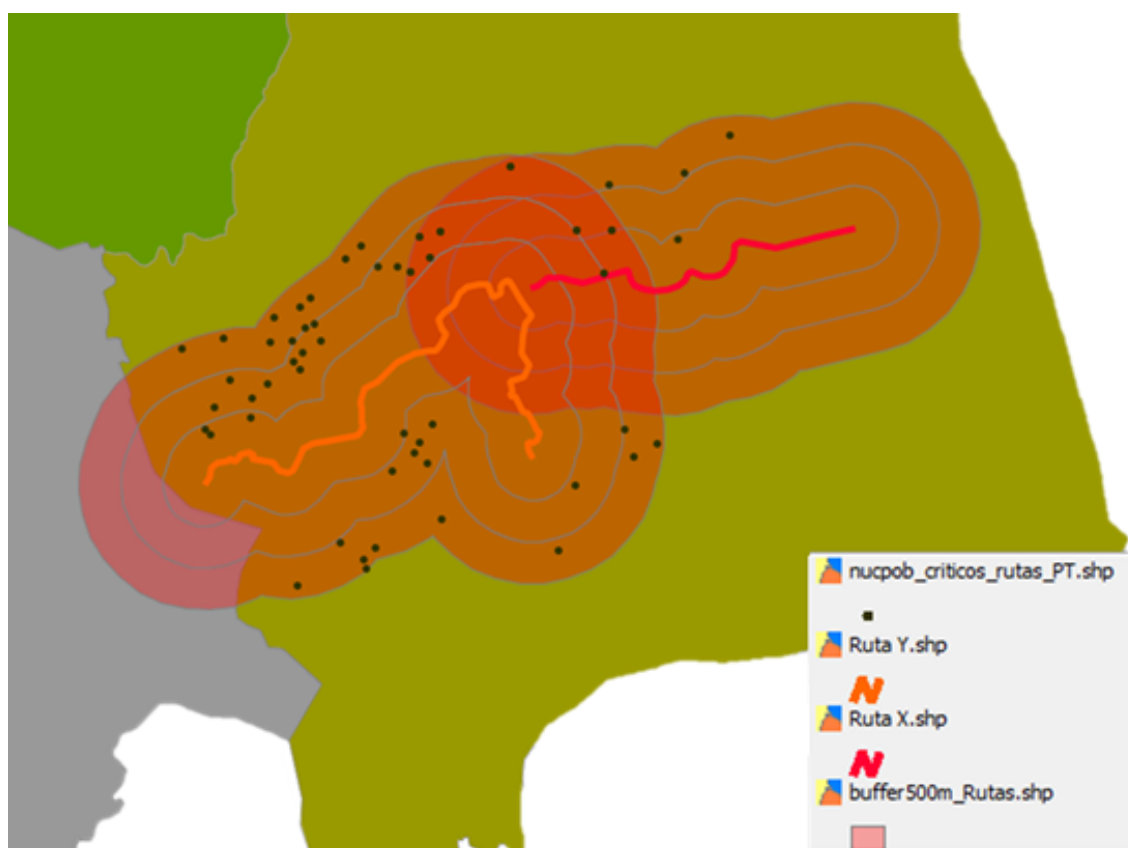


Figura 4-18 Núcleos de población críticos en las rutas X e Y.

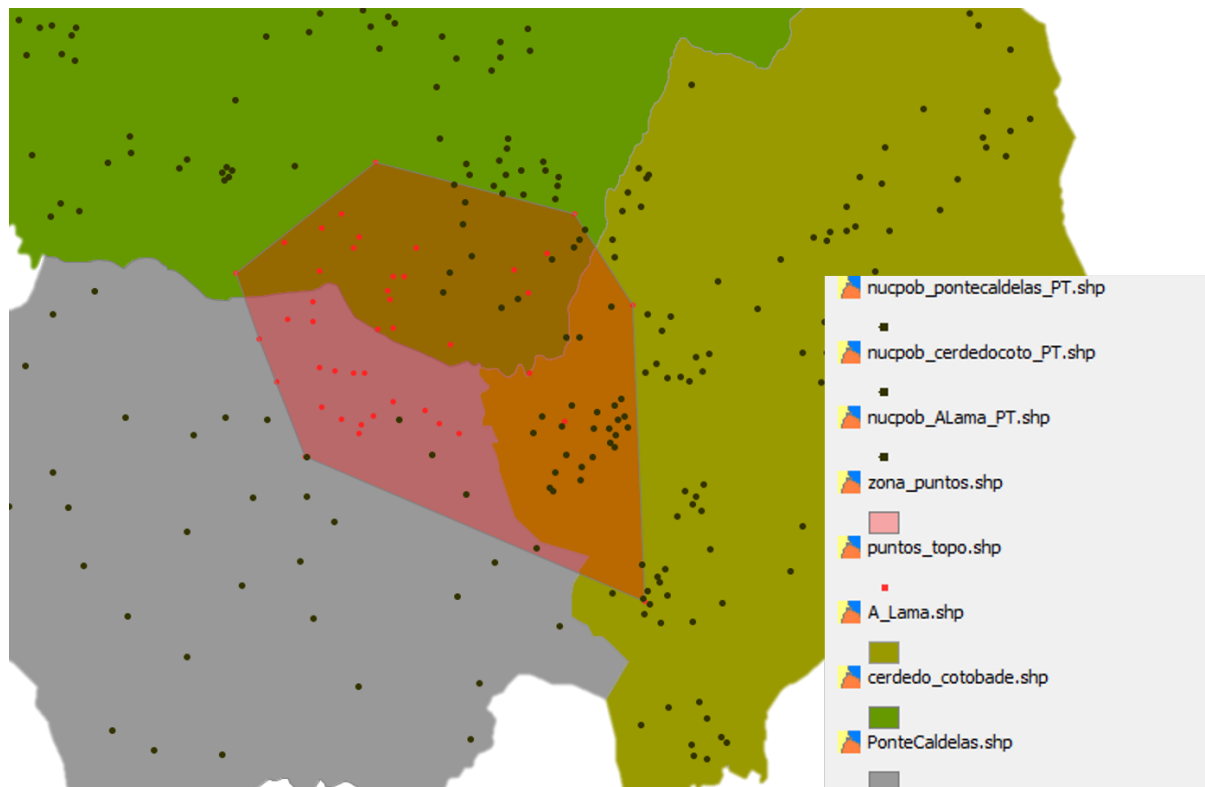


Figura 4-19 Núcleos de población críticos en la zona de ejercicios topográficos.

➤ Parcelas:

Al operar en la Comunidad Autónoma de Galicia, los alumnos de IM de la ENM durante sus salidas de prácticas de campo dan con una variedad de parcelas de propietarios que merecen el respeto y el trato adecuado por parte del personal de la escuela. Por lo tanto, será de interés incluir la capa del catastro, mediante un WMS, para que nos aporte la información relacionada con dichas parcelas que puedan afectar en el movimiento de la fuerza. Mediante la herramienta de información, al pinchar sobre dichas parcelas, este WMS facilita la referencia catastral con enlace de la sede electrónica del catastro (Figura 4-20) para consultar los datos acerca de la parcela seleccionada. La Figura 4-21 muestra una ficha catastral a la que se hace directamente desde la vista de trabajo del proyecto.

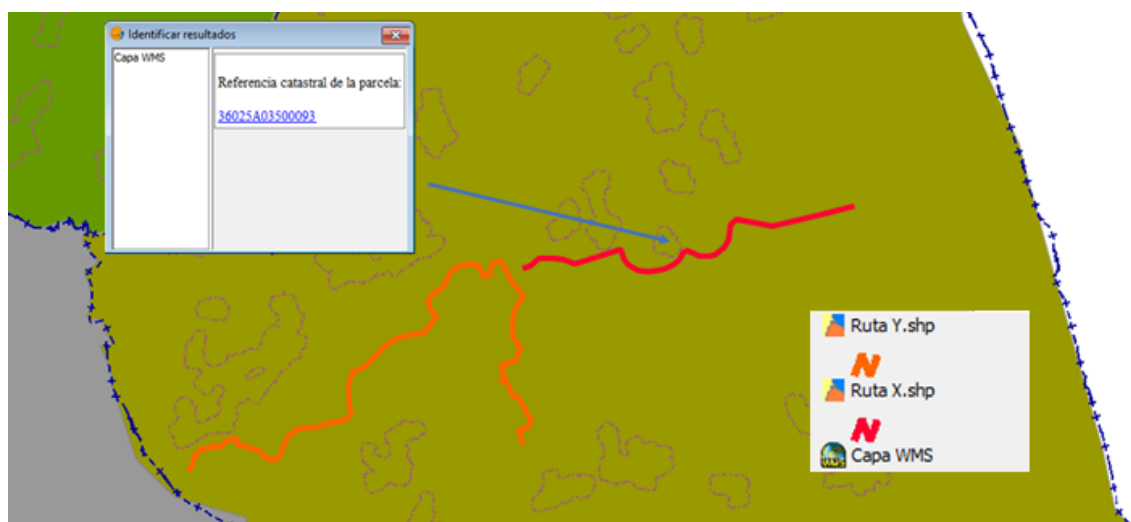


Figura 4-20 Catastro en las inmediaciones de las rutas X e Y.



The screenshot shows the 'Sede Electrónica del Catastro' website. The main content area is titled 'Consulta y certificación de Bien Inmueble'. On the left, there are navigation buttons: 'Volver', 'CARTOGRAFÍA', 'CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA', and 'IMPRIMIR DATOS'. The main content is divided into two sections: 'DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE' and 'PARCELA CATASTRAL'.

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE	
Referencia catastral	36025A035000510000GQ
Localización	LG CASAVELLA-SEIXIDO Poligono 35 Parcela 51 RIBA C.. 36835 A LAMA (PONTEVEDRA)
Clase	Urbano
Uso principal	Residencial
Superficie construida	195 m <sup>2</sup>
Año construcción	1950

PARCELA CATASTRAL	
Parcela construida sin división horizontal	
Localización	LG CASAVELLA-SEIXIDO Poligono 35 Parcela 51 RIBA C.. A LAMA (PONTEVEDRA)
Superficie gráfica	1.301 m <sup>2</sup>

Figura 4-21 Enlace a información catastral.

## 4.2 Resultados

En este apartado diferenciamos entre resultado obtenidos en forma de bases de datos (tablas) directamente obtenidas de los análisis SIG, mapas temáticos elaborados y productos exportables a otros visores cartográficos (capas en formato SHP, KML, etc.).

### 4.2.1 Base de datos

Después del análisis llevado a cabo en el apartado anterior, se ha elaborado una base de datos mediante la edición de las tablas de atributos de las capas generadas en gvSIG. Esta base de datos contiene la información necesaria para el planeamiento y conducción de las operaciones a lo largo de las rutas X e Y la zona de ejercicios topográficos propuestas.

Aspecto	Ruta X	Ruta Y	Zona de ejercicios topográficos	Observaciones
<b>Hidrografía: ocultación</b>	Ocultación por ríos en 5 ocasiones.	Ocultación por ríos en 2 ocasiones.	Abundantes cauces en la zona.	Embalse de Eirás a 9 km al SW.
<b>Hidrografía: zonas peligrosas</b>	Cruce de ríos (x5).	Cruce de ríos (x1).	NQR.	
<b>Relieve del terreno</b>	Ganancia de altura: 450 m, pérdida de altitud: 125 m.	Ganancia de altura: 380 m, pérdida de altitud: 120 m.	NQR.	
<b>Tipo de Suelo</b>	Granitoides de dos micas.	Granitoides de dos micas.	Granitoides de dos micas.	Apto para medios vehiculares y tropas a pie.
<b>Red Natura 2000 (ZEC)</b>	Cercanía (400-500 m) en tramo inicial.	Cercanía (400-500 m) en tramo medio.	Intersección en vértice E. Punto crítico cementerio (PF1)	
<b>Vegetación: tipo</b>	Mezcla de especies arbóreas (1%), especies caducifolias (15%), Arbusto y rocoso (74%). Bosque frondoso en ocasiones en primera mitad.	Mezcla de especies arbóreas (5%), eucalipto y coníferas (30%) y arbusto y rocoso (65%). Tramo al inicio de bosque mixto y tramo final de coníferas y frondoso.	Cultivos y prados (6%), mato (14%) y arbusto y rocoso (80%). Mayoritariamente bosque frondoso.	Porcentajes referidos a la totalidad de la ruta.
<b>Vegetación: densidad</b>	Arbolado (20%) y Desarbolado (80%).	Arbolado (45%) y Desarbolado (55%).	Arbolado (70%), Desarbolado (20%) y Cultivos y artificial (10%).	Porcentajes referidos a la totalidad de la ruta.
<b>Obras artificiales: aeródromos</b>	Aeródromo de Beariz a 4,5 km al NE.	Aeródromo de Beariz a 8 km al NE.	NQR.	
<b>Obras artificiales: carreteras</b>	Carretera de diputación sobre punto inicial y pista asfaltada a mitad del recorrido. 3 cruces de zonas peligrosas a lo largo del recorrido.	Carretera secundaria por punto inicial y carretera de diputación por mitad del recorrido. 1 cruce de zona peligrosa a lo largo del recorrido.	Abundantes carreteras secundarias y de diputación por núcleos de poblaciones.	
<b>Obras artificiales: núcleos de población</b>	Radio 500 m: 3, radio 500-1000 m: 1 y radio 1000-1500 m: 4.	Radio 500 m: 4, radio 500-1000 m: 25 y radio 1000-1500 m: 24.	43 núcleos de población mayoritariamente por el Este.	
<b>Obras artificiales: parcelas</b>	3 parcelas próximas en primera mitad del recorrido.	Una gran parcela cercana al comienzo del itinerario.	NQR.	Invasión prohibida para unidades.

Tabla 1 Base de datos.



Mediante la exportación de la tabla de atributos de la capa de puntos topográficos se obtiene la relación de puntos (Tabla 2) con su descripción y sus correspondientes coordenadas (X, Y, Z) en el sistema de referencia utilizado en el proyecto: el ETRS89.

Descripción	X	Y	Z
PUNTO INICIAL	545800	4695150	368
COTA 596	543000	4697700	596
COTA 558	542800	4697700	558
COLLADO 554	543200	4698200	554
ESPOLON 402	540900	4698300	402
CRUCE PISTA ARROYO	540050	4697750	429
MOLINO	543800	4696500	394
CRUCE PISTA ARROYO	543350	4695350	410
CRUCE PISTA VAGUADA	541900	4695200	400
CRUCE PISTA VAGUADA	542250	4695100	410
ESPOLON	542300	4696000	608
COLLADO 538	541500	4696100	538
CRUCE PISTAS	540950	4696950	405
COTA 466	540450	4696600	466
ESPOLON 517	541900	4698800	517
CRUCE VAGUADAS	542100	4698200	415
ESPOLON 451	542200	4698400	451
COTA 629	542100	4696000	629
ESPOLON 572	542800	4696800	572
COLLADO	541550	4698550	475
CRUCE PISTAS	541500	4697800	419
COTA 618	542520	4696780	618
CRUCE PISTAS	545500	4698100	520
HERMITA	544920	4697820	460
COTA 618	545970	4698800	618
COTA 569	545170	4697400	569
COTA 571	542800	4695500	571
ESPOLON 467	541250	4694550	467
COTA 494	541550	4695400	494
PUENTE	540750	4695850	454
COLLADO 554	541780	4696050	554
COTA 406	545180	4696000	406
COLLADO 419	543960	4694950	419
COTA 461	543600	4695120	461
MOLINO	542200	4694950	413
COTA 494	542450	4695250	494
CRUCE PISTAS	541400	4696900	438
EDIFICACION	541400	4697250	446
CRUCE PISTAS	542750	4697300	532
COTA 543	542700	4697450	543
FUENTE	542500	4699700	559
CEMENTERIO. PF1	547000	4697200	487
PUENTE. PF2	547200	4692000	388

**Tabla 2 Relación de puntos topográficos.**

Mediante la exportación y combinación de las tablas de atributos de las capas de intersecciones de ambas rutas con los diferentes ríos que las cortan se obtiene la siguiente tabla:

ORDEN_STR A	TIPO	ID1	NomeConcel	Concello	NomeCapita	Provincia	Ruta
1	río	13410,00	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta X
1	río	14153,00	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta X
1	río	13949,00	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta X
1	río	14347,00	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta X
1	río	13958,00	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta X
1	río	13413	A Lama	Lama, A	Pedreira, A	Pontevedra	Ruta Y

**Tabla 3 Intersecciones de las rutas con ríos.**

#### 4.2.2 Cartografía temática

En este subapartado se expondrá la relación de mapas producidos con gvSIG tras el estudio del terreno llevado a cabo. Dichos mapas con sus correspondientes cajetines de información de referencia se encuentran disponibles en el Anexo I: Cartografía temática.

Los mapas elaborados son los siguientes:

➤ Mapa de la Zona de Actuación (Escala 1:200000):

En este mapa se incluyen los tres concellos colindantes que forman la zona de estudio con la ubicación de los tres casos prácticos propuestos para su análisis: el ejercicio de localización de puntos topográficos llevado a cabo en la zona central de fronteras entre concellos y ambas rutas (Ruta X y Ruta Y) llevadas a cabo en el sector este de la zona de estudio.

➤ Mapa de Hidrografía (Escala 1:200000):

Este producto representa todos los posibles cauces de ríos presentes en la zona mediante su localización y longitud. Además, se representa la única masa de agua considerable en la zona: el embalse de Eiras, el cual se encuentra al Sur de la zona de actuación. Reseñar que también incluye la localización de los casos prácticos planteados.

➤ Mapa de Relieve (Escala 1:100000):

Este mapa contiene las curvas de nivel correspondientes a la zona de estudio para representar el desnivel presente en el área seleccionada. Es necesario reflejar que este mapa tiene mayor escala que los demás debido a que se centra únicamente en la zona de ejercicios, ya que el producto a menor escala no aportaba información útil para el usuario. Esto ocurre debido a la equidistancia entre curvas de nivel, la cual es demasiado pequeña (mayor resolución) para que se diferencien bien unas de otras a una escala que permita la visualización de la zona de actuación al completo. Para su demostración de legibilidad se incluyen en él los ejercicios propuestos del caso práctico.

➤ Mapa de Usos del Suelo (Escala 1:200000):

Este producto contiene los diferentes usos del suelo en toda la zona de actuación, representando así el tipo de cobertura superficial que habrá en cada lugar y qué tipo de vegetación estará presente en cada uno de ellos. También se incluyen los casos prácticos propuestos correspondientes a ejercicios llevados a cabo por las fuerzas propias.

➤ Mapa de la Red Natura 2000 (Escala 1:200000):

En este mapa se representa las Zonas de Especial Conservación de la biosfera dictaminadas por la Unión Europea en la iniciativa Red Natura 2000, las cuales son de obligado conocimiento y respeto por parte de las unidades militares operando en la zona. Se halla que las únicas zonas conflictivas que existen se encuentran en el sector noreste de la zona de actuación.

➤ Mapa de las Obras Artificiales (Escala 1:200000):

En este producto se representa la localización y extensión de las diferentes infraestructuras de especial relevancia para el planeamiento y conducción de las operaciones militares. En él se han incluido las vías de comunicación (autovías, autopistas, carreteras secundarias, pistas, caminos, etc.), la infraestructura ferroviaria (únicamente una vía al Norte de la zona de actuación, cruzándola de Este a Oeste) y la ubicación de los aeródromos presentes en la zona (únicamente uno en el sector noreste).

### 4.2.3 Exportación a otros visores

La información obtenida tras el análisis en gvSIG puede ser exportada a otros visores *online* como son *Google Earth*, *Google Maps* o *Iberpix*. Estas herramientas pueden proporcionar información de otro tipo y una imagen más actualizada y, por tanto, más práctica para la consulta de los productos.

En el caso de *Google Earth* es necesario poseer el buscador la instalación de la aplicación en el equipo a utilizar. Su descarga es gratuita y sencilla de conseguir. Este programa permite la visualización de imágenes en tres dimensiones del planeta, combinando imágenes satelitales, mapas, etc. Con él podemos llegar a obtener una precisión asombrosa a la hora de analizar imágenes satelitales, hasta el punto de elegir porqué puerta o ventana del edificio entrarán las fuerzas propias para su posterior registro y limpieza.

Para poder importar una capa creada en gvSIG a Google Earth es necesario exportar la capa en formato SHP a formato KML. La capa se importa en el visor mediante el menú “Archivo” y la herramienta “Abrir”. En la Figura 4-22 se puede observar cómo se han insertado los cruces de ríos que cortan con la ruta X, capa previamente creada con gvSIG (Figura 4-11).

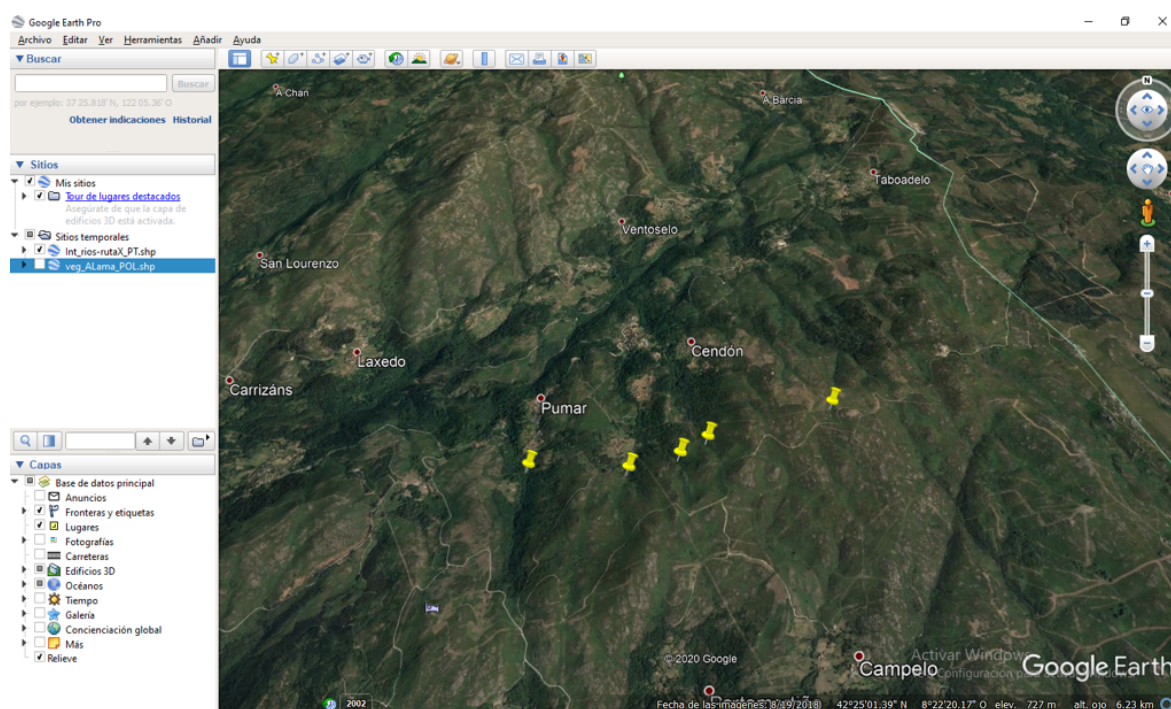
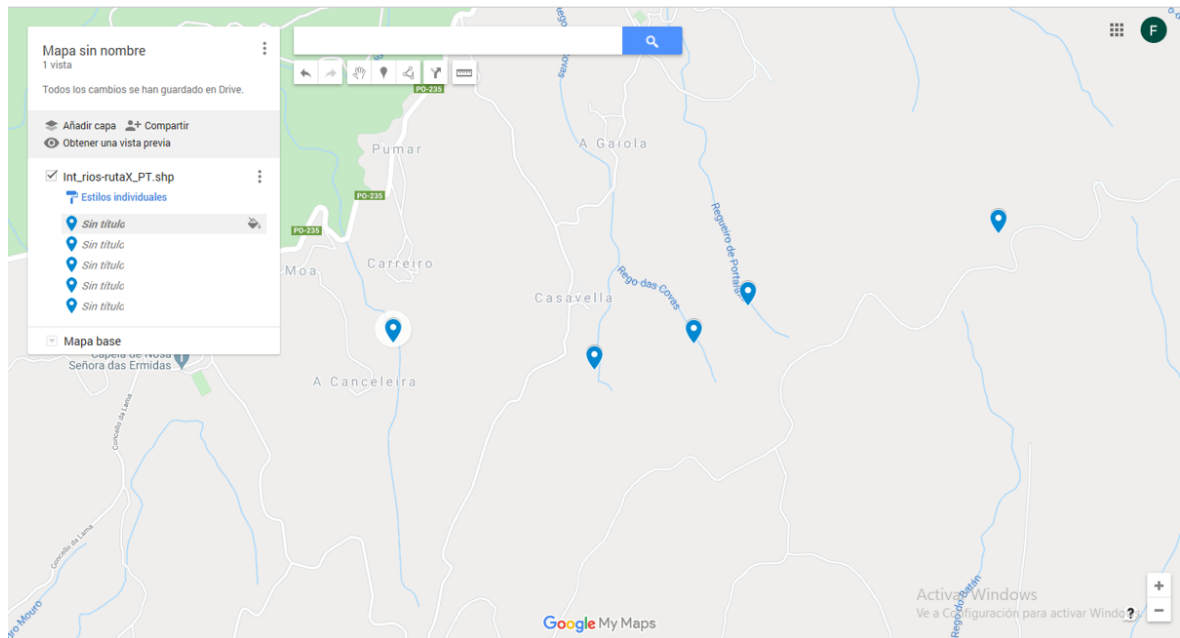


Figura 4-22 Cruces de ríos en la ruta X visualizados en *Google Earth*.

Por otro lado, *Google Maps* es otro servicio ofrecido por la misma empresa más orientado a la navegación GPS (*Global Positioning System*) aun así, puede ser de utilidad en ciertos casos de estudio.

Para ello es necesario acudir a la aplicación puesta en línea por los servicios de Google (no es necesario su descarga) y, en el menú de herramientas, seleccionar la opción de “Mis sitios”. Una vez en este menú seleccionar la pestaña de “Mapas” y clicar “Crear mapa”. A continuación, se importa la capa deseada en formato KML del directorio propio. De esta forma es posible visualizar la capa original, generada en gvSIG, en el visor ofrecido por el servicio de mapas de Google (Figura 4-23).



**Figura 4-23** Cruce de ríos en la ruta X visualizados en *Google Maps*.

Por último, existe la opción de utilizar el visor ofrecido por el IGN: Iberpix 4. Este visor es de gran utilidad debido a su manejo intuitivo y sencillo de cara al usuario. Esta opción nos permite visualizar los productos obtenidos en gvSIG sobre las hojas de los planos utilizados por el personal de la CIA de Alumnos de la ENM. Esta herramienta nos permite también visualizar información adicional, de tipo *ráster*, como son imágenes del PNOA, ocupación del suelo (SIOSE), mapa LiDAR (relieve), etc. La información del tipo vectorial como son los puntos, líneas y polígonos las deberá aportar el usuario mediante su edición sobre el mismo visor o su importación (explicado a continuación).

Para importar las capas en esta herramienta se puede utilizar el fichero KML o mediante la subida de una carpeta comprimida con los archivos SHP y DBF (*DataBase File*) correspondientes a la capa a introducir. Una vez insertadas las capas en el visor aparecerán dichos ficheros en el menú de capas (esquina inferior derecha) para poder activarlas o desactivarlas para su superposición y estudio (Figura 4-24).

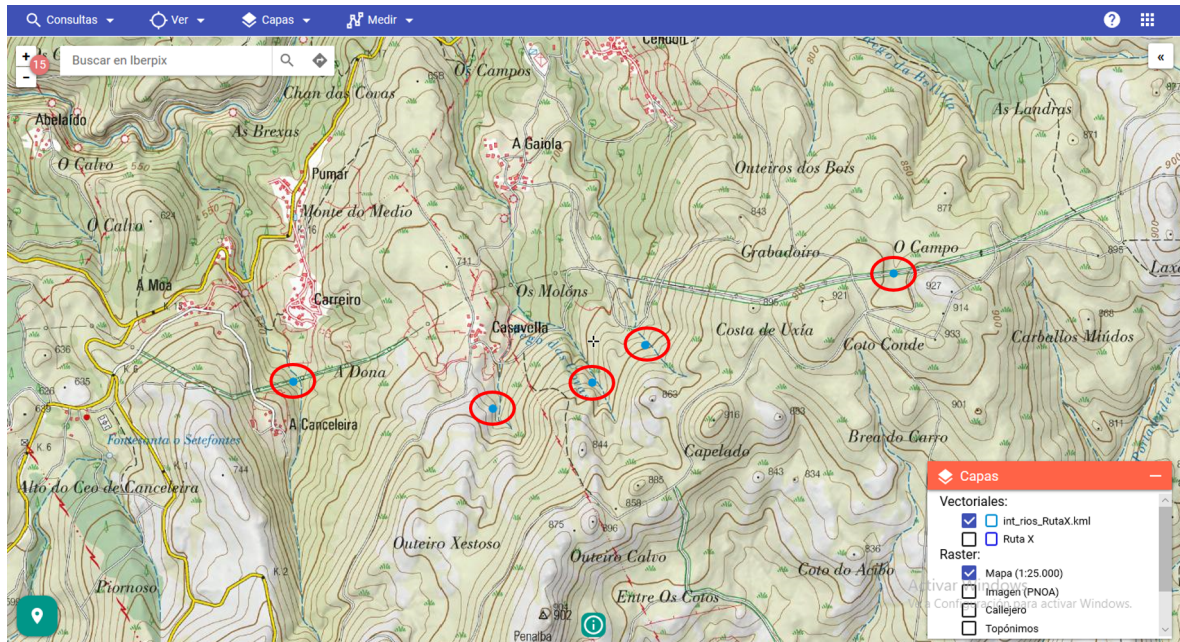


Figura 4-24 Cruce de ríos en la ruta X visualizados en Iberpix 4.





## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

Tras la realización de este TFG se ha llegado a una serie de conclusiones que, de manera conjunta, apuntan al beneficio que aporta la utilización de una herramienta SIG para el análisis del terreno integrado en el proceso de planeamiento de una operación militar. En el caso de la ENM con los alumnos de IM, los cuales poseen una apretada agenda, sacarían un mayor provecho a la preparación de sus ejercicios de prácticas de campo si utilizasen este tipo de aplicaciones SIG, invirtiendo así su tiempo de una manera mucho más eficiente.

Respecto al primero de los objetivos generales planteados en el apartado primero de este TFG, este se puede considerar cumplido debido a que se ha llevado a cabo un análisis terrenal exitoso sobre la zona de Ponte Caldelas, a la cual la CIA de Alumnos de IM de la ENM acude con bastante frecuencia todos los años para realizar diferentes tipos de maniobras para su instrucción y adiestramiento. Debido a las particularidades de esta unidad frente a las de las demás unidades que conforman la BRIMAR, se puede aclarar que para que el análisis llevado a cabo resulte útil para la Brigada al completo sería necesario que un experto de cada unidad específica (personal, medios y armamento) realizara dicho análisis para su unidad en concreto, y así obtener las posibilidades y restricciones de maniobra de las fuerzas propias. Cabe reseñar que el análisis realizado es acorde y apto para cualquier CIA de fusiles de la BRIMAR.

El segundo de los objetivos generales era la elaboración de la cartografía temática tras el análisis y, tal y como se puede observar en los anexos de este TFG, se han elaborado los esperados mapas temáticos para su futura utilización en operaciones subsiguientes en la zona de estudio. Es importante mencionar que cada uno de ellos responde a las cuestiones planteadas por un factor de estudio (hidrografía, relieve, obras artificiales, etc.). Es cierto que no toda la información temática insertada en el software se ha podido materializar en un plano o mapa puesto que, debido a la cantidad de información requerida en el análisis, las posibilidades son verdaderamente numerosas. Por ello, dependiendo de la unidad o de la operación, este estudio requerirá la producción de otro tipo de cartografía a mayores (existiendo la posibilidad de obtenerla mediante las capas ya estudiadas o incluso incluyendo más capas de estudio) que la obtenida en este trabajo.

Por otro lado, desde el punto de vista del aprendizaje de una aplicación SIG, este TFG nos presenta la amplia gama de posibilidades que ofrece el sector respecto a este tipo de herramientas y sus capacidades tanto en el mundo civil como militar, cumplimentando así el primero y el segundo de los objetivos específicos planteados. Además, se expone una relación de fuentes de confianza de las cuales se recopila y se recomienda la descarga y obtención de la información geográfica correspondiente a la zona estudiada y al resto de la Comunidad de Galicia, quedando cubierto de esta forma el tercero de los objetivos anteriormente mencionados.



En el presente TFG se elige un software específico de licencia gratuita (gvSIG) el cual, como se ha demostrado en el desarrollo del trabajo, permite el análisis de diferentes factores del terreno que pueden afectar positiva y negativamente la conducción de operaciones militares, quedando así cumplido el cuarto de los objetivos específicos planteados inicialmente. Ciertamente es que en este TFG no se llega al máximo detalle sobre cómo utilizar el software de cara al usuario, pero con la información aportada para el desarrollo de los procesos es posible llegar a un conocimiento y manejo del software de nivel medio, debido a las funcionalidades y herramientas expuestas y utilizadas para la obtención de los productos topográficos. Además, como ya se ha mencionado, existen diferentes tutoriales gratuitos que ofrece la comunidad gvSIG que, junto a este trabajo, pueden llegar a ser el tutor perfecto para el joven militar iniciándose en este amplio mundo de los SIG.

Respecto al último de los objetivos propuestos en el apartado inicial de este TFG, se puede considerar alcanzado debido a que se muestra cómo exportar un producto elaborado en el software utilizado (gvSIG) a diferentes herramientas geográficas como son *Google Earth*, *Google Maps* o *Iberpix*, las cuales proporcionan otra perspectiva diferente para el estudio del terreno que, en muchas ocasiones, es tan importante como el estudio llevado a cabo en el propio software.

Finalmente, analizando los productos obtenidos y el trabajo llevado a cabo, podemos confirmar que la zona de Ponte Caldelas es un área más que apta para la realización de ejercicios militares de pequeña entidad. Posee ciertos inconvenientes como pueden ser los numerosos núcleos de población presentes en la zona o la inexistencia de cierto tipo de infraestructuras. Sin embargo, estos aspectos en contra no dejan de ser obstáculos a los cuales toda unidad se tiene que adaptar, franquear y avanzar.

## 5.2 Líneas Futuras

Tras la realización de este TFG se proponen las siguientes líneas futuras:

- Realizar un análisis SIG y la elaboración de la cartografía temática correspondientes a los campos de maniobras más frecuentados por la CIA de Alumnos de la ENM que son: CMT de Parga, en Lugo, las inmediaciones del EVA 10 (Estación de Vigilancia Aérea) en la Sierra de Barbanza (A Coruña) y el CMT del Teleno, en León. Este estudio será beneficioso en el futuro, de cara a los alumnos, debido a que una vez allí desplegados no tendrán todas las facilidades que pueden tener con una aplicación SIG en la ENM.
- Realizar una comparación del software utilizado en este TFG (gvSIG) con el elaborado por el Centro Geográfico del Ejército de Tierra en su iniciativa SIGMIL (la aplicación Carta Digital), el cual está siendo utilizado en operaciones actuales. El objetivo principal de esta línea de investigación propuesta será valorar si merece la pena enseñar a los alumnos de IM el uso de Carta Digital en vez de gvSIG dentro de la asignatura de *Fundamentos de Topografía*, encuadrada en su plan de estudios del grado de Ingeniería Mecánica.
- Llevar a cabo un análisis SIG de otra de las zonas más frecuentadas por los alumnos de IM en sus prácticas de campo (Soutomaior, Campo Lameiro, Cangas, etc.) y así contribuir a la conformación y confección de una base de datos útil y actualizada para el Departamento nº 4 de la ENM.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armada Española, «armada.mde.es,» Ministerio de Defensa, [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquesinfanteria/refLang-es/01infanteria-marina-tercio-armada-tear--06grupodeartilleriadedesembarco-gad+>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [2] ET. Mando de Adiestramiento y Doctrina, Método de Planeamiento de las Operaciones. Nivel Táctico, Madrid: Ministerio de Defensa, 2013.
- [3] Armada, Método de Planeamiento de las Operaciones. Nivel Táctico., Madrid: Ministerio de Defensa, 2013.
- [4] Armada, I-RIM-202, Madrid: Ministerio de Defensa, 2013.
- [5] esri España, «esri.es,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.esri.es/descubre-los-gis/>. [Último acceso: 17 Enero 2020].
- [6] V. Olaya, Sistemas de Información Geográfica, CreateSpace Independent Publishing Platform (Amazon), 2012.
- [7] slideshare, «www.slideshare.net,» [En línea]. Available: [https://es.slideshare.net/magallanes\\_sergio/definicin-de-gis](https://es.slideshare.net/magallanes_sergio/definicin-de-gis). [Último acceso: 27 Enero 2020].
- [8] Universidad de Salamanca , «www.stig.usal.es,» [En línea]. Available: <http://www.stig.usal.es/quehacemos.php>. [Último acceso: 27 Enero 2020].
- [9] Calixto Escariz, «calixtoescariz.com,» Calixto Escariz SLU, 22 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.calixtoescariz.com/blog/ventajas-sistemas-informacion-geografica/>. [Último acceso: 20 Enero 2020].
- [10] D. Maguire, V. Kouyoumjian y R. Smith, The Business Benefits of GIS: An ROI Approach, ESRI, 2008.
- [11] Centro Geográfico del Ejército de Tierra, «ejercito.mde.es,» Ministeriode Defensa, [En línea]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/unidades/Madrid/ceget/Actividades/index.html>. [Último acceso: 28 Enero 2020].

- [12] Mundogis, «mundogis.info,» 2017. [En línea]. Available: [mundogis.info/blog/2017/11/22/la-historia-de-los-sig-sistema-de-informacion-geografica/](http://mundogis.info/blog/2017/11/22/la-historia-de-los-sig-sistema-de-informacion-geografica/). [Último acceso: 27 Enero 2020].
- [13] GVSIG, «gvSIG.com,» gvSIG, 2009. [En línea]. Available: <http://www.gvsig.com/es>. [Último acceso: 29 Enero 2020].
- [14] QGIS, «qgis.org,» QGIS, 29 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.qgis.org/es/site/>. [Último acceso: 29 Enero 2020].
- [15] ESRI, «esri.es,» ESRI, [En línea]. Available: <https://www.esri.es/descubre-los-gis/>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [16] Ministerio de Defensa, «www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es,» Ministerio de Defensa, [En línea]. Available: <https://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/detallecapacidad.aspx?capacidadID=29>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [17] Ejército de Tierra, «ejercito.mde.es,» Ministerio de Defensa, 2013. [En línea]. Available: <http://www.ejercito.mde.es/noticias/2013/04/2263.html>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [18] GMV, «gmv.com,» GMV, [En línea]. Available: <https://www.gmv.com/es/Productos/Talos/>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [19] J. M. Sanz, «defensa.com,» 16 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.defensa.com/espana/artilleros-infanteria-marina-espanola-lideraran-ejercicio>. [Último acceso: 03 Febrero 2020].
- [20] Diario ABC, «abc.es,» ABC, 2017. [En línea]. Available: <https://abcblogs.abc.es/tierra-mar-aire/industria-de-defensa/bms-lince-el-novedoso-sistema-de-mando-y-control-de-los-leopardo-y-pizarro-en-letonia.html>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [21] Hexagongeospatial, «hexagongeospatial.com,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.hexagongeospatial.com/>. [Último acceso: 03 Febrero 2020].
- [22] Grass, «grass.osgeo.org,» 2020. [En línea]. Available: <https://grass.osgeo.org/>. [Último acceso: 03 Febrero 2020].
- [23] MappingGIS, «mappinggis.com,» MappingGIS, 2012. [En línea]. Available: <https://mappinggis.com/2012/09/aplicaciones-gis-open-source/>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [24] V. Bouzas, «tysmagazine.com,» TYS Magazine, 2014. [En línea]. Available: <https://www.tysmagazine.com/los-mejores-software-libre-gis/>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [25] GIS GEOGRAPHY, «gisgeography.com,» GISGEOGRAPHY, 21 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://gisgeography.com/mapping-out-gis-software-landscape/>. [Último acceso: 28 Enero 2020].
- [26] Confederación de Empresarios de Andalucía, «sig.cea.es,» Confederación de Empresario de Andalucía, 2010. [En línea]. Available: <http://sig.cea.es/gvsig>. [Último acceso: 29 Enero 2020].

- [27] IGN, «centrodedescargas.cnig.es,» IGN, [En línea]. Available: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>. [Último acceso: 4 Febrero 2020].
- [28] Copernicus, «land.copernicus.eu,» Agencia Europea del Medioambiente, 30 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. [Último acceso: 04 Febrero 2020].
- [29] SIOSE, «siose.es,» 19 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.siose.es/web/guest/inicio>.
- [30] CartoCiudad, «cartociudad.es,» CNIG, [En línea]. Available: <https://www.cartociudad.es/portal/web/guest/que-es-cartociudad>. [Último acceso: 04 Febrero 2020].
- [31] Xunta de Galicia, «mapas.xunta.gal,» Xunta de Galicia, [En línea]. Available: <http://mapas.xunta.gal/centro-de-descargas>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].
- [32] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, «mapa.gob.es,» Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, [En línea]. Available: <https://www.mapa.gob.es/es/cartografia-y-sig/default.aspx>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].
- [33] PNOA, «pnoa.ign.es,» IGN, [En línea]. Available: <https://pnoa.ign.es/>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].
- [34] Sede electrónica del Catastro, «www1.sedecatastro.gob.es,» Ministerio de Hacienda, 2020. [En línea]. Available: <https://www1.sedecatastro.gob.es/>. [Último acceso: 17 Febrero 2020].
- [35] Centro Nacional de Información Geográfica, «ign.es,» Instituto Geográfico Nacional, [En línea]. Available: <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-rejilla-cambio-datum>. [Último acceso: 09 Febrero 2020].
- [36] Yorhani, «portafoliorhani.weebly.com,» [En línea]. Available: <https://portafoliorhani.weebly.com/aporte-6.html>. [Último acceso: 20 Enero 2020].
- [37] Armada, «www.armada.mde.es,» [En línea]. Available: <http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/multimedialgaleria/refLang-es/>. [Último acceso: 27 Enero 2020].
- [38] CartoCiudad, «cartociudad.es,» Ministerio de Fomento, 2019. [En línea]. Available: <http://www.cartociudad.es/portal/>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].
- [39] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Democrático, «miteco.gob.es,» Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Democrático, [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/red-natura-2000/>. [Último acceso: 06 Febrero 2020].



## **ANEXO I: CARTOGRAFÍA TEMÁTICA**





