

Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Localización de zonas para la instalación del puesto de mando de la BRIMAR haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jesús Sevilla Sánchez

DIRECTORES: Mercedes Solla Carracelas

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universidade Vigo



Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Localización de zonas para la instalación del puesto de mando de la BRIMAR haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General / Infantería de Marina

Universidade Vigo

RESUMEN

Este trabajo está dirigido a facilitar, haciendo uso de los llamados sistemas de información geográficos, la situación del puesto de mando (PC) de la Brigada de Infantería de Marina (BRIMAR). De este modo, se reduce en gran medida el tiempo que supondría un reconocimiento puramente físico del terreno.

Más concretamente, se hizo uso del software gvSIG partiendo de unas restricciones fundamentadas en la doctrina de Infantería de Marina, para localizar zonas en la provincia de Pontevedra donde el PC cumpla los requisitos de: ocupar una superficie mínima de 126.000 m^2, situarse sobre usos del suelo acorde a los elementos a instalar, localizarse a no menos de 5 Km de núcleos de población de más de 500 habitantes, estar afectado por pendientes de no más de un 10% de inclinación, con una comunicación adecuada y una distancia máxima de 1 Km a un núcleo hidrográfico. El resultado de este estudio de selección de zonas aptas para la instalación del PC, se presenta en forma de una serie de mapas temáticos precedidos de una descripción detallada de cada una de ellas. Como resultado, se han obtenido 21 zonas posibles para la instalación a lo largo de la provincia de Pontevedra, que cumplen los requisitos mínimos necesarios para su configuración. Se presenta también, a modo de ejemplo, un mapa temático mostrando el despliegue o diseño organizativo en el terreno del puesto de mando de la BRIMAR.

PALABRAS CLAVE

SIG, geoproceso, BRIMAR, puesto de mando (PC), gvSIG

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería dar las gracias a mi tutora, Doña Mercedes Solla Carracelas por su infinita paciencia. Al departamento de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar, por la ayuda prestada en los aspectos militares de este trabajo. Y por último, pero no por ello menos importante a mi familia: A mi madre, María Isabel Sánchez Gutiérrez, con la que siempre he podido contar en los buenos y malos momentos, a mi padre, José Antonio Sevilla Caletrio, que ha sido para mí un ejemplo a seguir desde mi infancia, a mis dos hermanos, Álvaro y David, de los que no podría estar más orgulloso y a mi novia, María Luque Moyano, que a pesar de la distancia ha permanecido a mi lado apoyándome en todo momento.

CONTENIDO

Contenido 1

Índice de Figuras 3

Índice de Tablas 7

1 Introducción y objetivos 9

1.1 Justificación 9

1.2 Objetivos 10

1.2.1 Objetivos generales 10

1.2.2 Objetivos específicos 11

2 Estado del arte 13

2.1 Los Sistemas de Información Geográfica 13

2.1.1 Concepto de SIG 13

2.1.2 Historia de los SIG 14

2.1.3 Funciones de análisis espacial 18

2.1.4 Los SIG en España 24

2.1.5 Sistema de Información Geográfica Militar 27

2.2 Puesto de mando de la Brigada de Infantería de Marina 32

2.2.1 La BRIMAR 32

2.2.2 El PC de la BRIMAR 32

3 Desarrollo del TFG 37

3.1 Criterios de selección y fuentes de datos 37

3.1.1 Restricciones geográficas del PC 37

3.1.2 Fuentes de datos geográficos 39

3.2 La herramienta de trabajo 41

3.2.1 Introducción al gvSIG 41

3.2.2 Funciones de análisis espacial: geoprocesamiento 42

3.3 Metodología 44

4 Resultados 59

4.1 Zonas aptas 59

4.2 Ejemplo de instalación del PC 81

4.3 Información catastral 82

4.4 Mapas temáticos 83

5 Conclusiones y líneas futuras 85

5.1 Conclusiones 85

5.2 Líneas futuras 86
6 Bibliografía 87
Anexo I: Mapas temáticos 89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Organización del puesto de mando según la doctrina de Infantería de Marina. 11

Figura 2-1 Información geográfica y espacial para el caso particular de la comunidad autónoma de Galicia y sus provincias. 13

Figura 2-2 Tabla de atributos asociada a los datos geográficos. Contiene la información de cada polígono o unidad espacial. 14

Figura 2-3 Distribución del terreno y sus características en capas temáticas [3]. 14

Figura 2-4 Mapa generado por SYMAP [8]. 15

Figura 2-5 Salida 3D del sistema SYMVU [8]. 16

Figura 2-6 Evolución cronológica de los SIG [8]. 16

Figura 2-7 Ejemplo de consulta de atributos. 19

Figura 2-8 Ejemplo de medición de longitud. 19

Figura 2-9 Ejemplo de resultado de medición de longitud. 20

Figura 2-10 Ejemplo de medición de área. 20

Figura 2-11 Ejemplo de resultado de medición de área. 20

Figura 2-12 Ejemplo de superposición de capas (captura del software gvSIG). 21

Figura 2-13 Generación de área de influencia (captura del software gvSIG). 21

Figura 2-14 Modelo Vectorial vs Modelo Ráster [18]. 22

Figura 2-15 Esperanza de vida de mujeres en España (1990-1992) [19]. 23

Figura 2-16 Esperanza de vida de mujeres en España (1999-2001) [19]. 23

Figura 2-17 Esperanza de vida de mujeres en España (1999-2001), en comparación con la escala (1990-1992) [19]. 24

Figura 2-18 Portal de la plataforma informática del IGN [21]. 25

Figura 2-19 Logotipo SignA [22]. 25

Figura 2-20 Geoportal de SignA [22]. 26

Figura 2-21 Ejemplo de mapa obtenido de SIANE [21]. 26

Figura 2-22 Portal SIP de Santiago de Compostela [24]. 27

Figura 2-23 Visualización TALOS [26]. 30

Figura 2-24 Uso de la plataforma SEISMO [26]. 30

Figura 2-25 ATLANTE en el salón aeronáutico de Farnborough en 2014 [3]. 31

Figura 2-26 Disposición externa del PC. 33

Figura 2-27 Disposición interna del PC. 34

Figura 2-28 Croquis de instalación de la red radio de combate en el PC. 34

Figura 2-29 Disposición del PC táctico. 35

Figura 2-30 Composición del PC móvil. 35

Figura 3-1 Portal INE [29]. 39
Figura 3-2 Geoportal IDEE [31]. 40
Figura 3-3 Catálogo de productos del IGN [21]. 40
Figura 3-4 Acceso al catálogo de descargas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [32]. 41
Figura 3-5 Logotipo gvSIG [33]. 41
Figura 3-6 Ventana especificación de filtros. 42
Figura 3-7 Ejemplo gráfico del geoproceso diferencia [34]. 43
Figura 3-8 Ejemplo gráfico del geoproceso intersección [34]. 43
Figura 3-9 Ejemplo gráfico del geoproceso área de influencia [34]. 44
Figura 3-10 Configuración de la vista principal. 44
Figura 3-11 Aplicación de la operación filtro sobre la provincia de Pontevedra. 45
Figura 3-12 Trabajamos con los ayuntamientos de Pontevedra. 45
Figura 3-13 Obtención de la capa de parroquias y ayuntamientos de la provincia de Pontevedra. .46
Figura 3-14 Capa de los usos del suelo viables para la instalación del PC. 46
Figura 3-15 Espacios protegidos de Pontevedra. 47
Figura 3-16 Capa principal sin los espacios naturales. 47
Figura 3-17 Núcleos de población en la comunidad autónoma de Galicia. 48
Figura 3-18 Núcleos de población en la provincia de Pontevedra. 48
Figura 3-19 Núcleos de población de la provincia de Pontevedra con más de 500 habitantes. 49
Figura 3-20 Representación de áreas de influencia en torno a los núcleos de población con más de 500 habitantes. 49
Figura 3-21 Zonas de la provincia de Pontevedra fuera del alcance de las áreas de influencias. 50
Figura 3-22 Selección por capa. 50
Figura 3-23 Zonas tras aplicar la última restricción respecto a aspectos poblacionales. 51
Figura 3-24 Creación del campo relativo a la superficie en m^2. 51
Figura 3-25 Introducción de la expresión "área" para el cálculo de superficies en el nuevo campo creado. 52
Figura 3-26 Filtro para la eliminación de zonas que no cumplen el mínimo de superficie necesaria. 52
Figura 3-27 Búsqueda de aquellas zonas que no cumplen la condición de elevación preestablecida. 53
Figura 3-28 Ejemplo de selección de zonas a eliminar. 53
Figura 3-29 Ejemplo de eliminación de una zona con una elevación inferior a 400 m. 54
Figura 3-30 Inserción de la capa PNOA a partir de servidor WMS. 54
Figura 3-31 En amarillo se indican las zonas que cumplen los requisitos de elevación. 55
Figura 3-32 Cálculo de la pendiente del terreno [35] 55

Figura 3-33 Zonas que no cumplen los requisitos de desnivel o pendiente (en amarillo). 56
Figura 3-34 Ejemplo de evaluación de la cubierta arbórea. 56
Figura 3-35 Zonas que no cumplen el requisito de cubierta, en amarillo. 57
Figura 3-36 Ejemplo de evaluación de capacidades de comunicación. 57
Figura 3-37 Ejemplo de medición de distancia entre la posible localización del PC y el elemento hidrográfico circundante (en amarillo río simple). 58
Figura 3-38 Verificación de distancia (en metros) al elemento hidrográfico. 58
Figura 3-39 Zonas aptas tras la evaluación de proximidad a elementos hidrográficos. 58
Figura 4-1 Imagen satelital de la zona 1, con opciones de localización del PC. 60
Figura 4-2 Imagen satelital de la zona 2, con opciones de localización del PC. 61
Figura 4-3 Imagen satelital de la zona 3, con opciones de localización del PC. 62
Figura 4-4 Imagen satelital de la zona 4, con opciones de localización del PC. 63
Figura 4-5 Imagen satelital de la zona 5, con opciones de localización del PC. 64
Figura 4-6 Imagen satelital de la zona 6, con opción de localización del PC. 65
Figura 4-7 Imagen satelital de la zona 7, con opciones de localización del PC. 66
Figura 4-8 Imagen satelital de la zona 8, con opciones de localización del PC. 67
Figura 4-9 Imagen satelital de la zona 9, con opciones de localización del PC. 68
Figura 4-10 Imagen satelital de la zona 10, con opciones de localización del PC. 69
Figura 4-11 Imagen satelital de la zona 11, con opciones de localización del PC. 70
Figura 4-12 Imagen satelital de la zona 12, con opción de localización del PC. 71
Figura 4-13 Imagen satelital de la zona 13, con opciones de localización del PC. 72
Figura 4-14 Imagen satelital de la zona 14, con opciones de localización del PC. 73
Figura 4-15 Imagen satelital de la zona 15, con opción de localización del PC. 74
Figura 4-16 Imagen satelital de la zona 16, con opción de localización del PC. 75
Figura 4-17 Imagen satelital de la zona 17, con opción de localización del PC. 76
Figura 4-18 Imagen satelital de la zona 18, con opciones de localización del PC. 77
Figura 4-19 Imagen satelital de la zona 19, con opciones de localización del PC. 78
Figura 4-20 Imagen satelital de la zona 20, con opciones de localización del PC. 79
Figura 4-21 Imagen satelital de la zona 21, con opciones de localización del PC. 80
Figura 4-22 Zona seleccionada como ejemplo para la localización del PC. 81
Figura 4-23 Ejemplo de instalación del PC de la BRIMAR. 81
Figura 4-24 Visualización división parcelaria de la zona 20. 82
Figura 4-25 Obtención de referencia catastral. 82
Figura 4-26 Ejemplo de ficha catastral [36]. 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Cuadro resumen de los principales aspectos que definen cada zona. 59

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Justificación

Las operaciones militares suponen la razón de ser de toda unidad de las Fuerzas Armadas. Para su ejecución resulta imprescindible el desarrollo de una serie de funciones esenciales a cada nivel, cuya conjunción derivará en el éxito del mismo así como su sincronización resultará en el éxito del sistema. Todas estas funciones esenciales conforman conjuntos de actividades relativamente homogéneas, todas ellas imprescindibles aun cuando su importancia relativa varía en cada caso. Son conocidas como funciones de combate. Son seis los elementos que dan forma a las funciones de combate, pero el estudio está dirigido más concretamente hacia una de ellas; la función de combate de mando y control. Dicha función queda definida como el conjunto de actividades mediantes las cuales se dirigen, coordinan y controlan las actividades de la fuerza y medios en operaciones militares. Detallando aún más la definición, podemos concretar que el elemento mando conforma lo relativo a planeamiento y decisión, mientras que el elemento control queda definido por la conducción de operaciones. En resumen, la función de combate de mando y control constituye el nexo de unión entre el escalón superior e inferior. Por lo tanto, esta función solo se hace posible mediante la coordinación de tres pilares fundamentales: (1) el personal, que quedará materializado por la organización de la fuerza, (2) la información, definida por los flujos y necesidades de la misma y, en última instancia, (3) una estructura de mando y control (C2) que será conformada por una serie de organizaciones, procedimientos, equipos e instalaciones.

Queda por tanto justificada la necesidad de una organización que permita al mando ejercer la función de combate de mando y control, una organización que va a necesitar de tres elementos esenciales (personal, medios e instalaciones), a partir de los cuales sea viable el planeamiento, dirección, control y coordinación de las operaciones. Es en este punto donde entra en juego el concepto de puesto de mando.

El puesto de mando constituye la instalación desde la que se ejerce el mando y control de las operaciones. Es decir, la materialización de todos los trabajos de planeamiento, conducción, etc. Contextualizando en el trabajo, el puesto de mando de la Brigada de Infantería de Marina (BRIMAR) deberá poder dar enlace entre unidades superiores, colaterales, subordinadas, junto con unidades apoyadas o en apoyo, asignadas y en refuerzo o reforzadas, y elementos a nivel interno que constituyen el puesto de mando. Asimismo, el puesto de mando quedará materializado por un conjunto de sistemas de información y comunicación, instalaciones y órganos C2.

La doctrina indica para su instalación en tierra una serie de directrices no siempre de fácil cumplimiento. Entre ellas, la situación táctica de la operación, despliegue de las tropas, pero también

cubierta, ocultación accesibilidad y cobertura de comunicación. Vemos por tanto que son dos los factores influyentes en la instalación del puesto de mando en tierra: la situación de la unidad en la operación y las características del terreno donde físicamente se situará el puesto de mando. Este trabajo se focaliza únicamente en este último.

En múltiples ocasiones, el reconocimiento del terreno por diversas causas resulta de enormes requerimientos de espacio y tiempo. Es por ello que contar con una herramienta que nos permita acortar o incluso obviar este proceso resulta de gran interés. Este es precisamente el objeto de estudio, analizar el potencial de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a la hora de evaluar estrategias para lugares de instalación del puesto de mando. Definiendo una serie de parámetros del terreno como son la altitud, pendiente y superficie, entre otros, podremos contar con una cartografía donde quedarán especificados puntos de gran idoneidad topográfica para la instalación del puesto de mando. Se obtiene así información de gran fiabilidad e idoneidad, previa a la instalación concreta del mismo.

1.2 Objetivos

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una ventaja evidente en el proceso de toma de decisiones. Este es precisamente el objetivo principal del trabajo, materializar el uso de estos sistemas en aplicación al ámbito militar, demostrando así la necesidad de su puesta en marcha en nuestras unidades permitiendo el ahorro económico y temporal frente a metodologías que no hacen uso de estos avances tecnológicos. Es bien sabido que el ser humano es un animal de costumbre y que, como postuló Platón, resulta necesario arrancarle de la oscuridad en la que se ve inmerso gobernada por el conocido "*siempre se hizo así”*.

1.2.1 Objetivos generales

La localización de zonas idónea e instalación del puesto de mando (PC), en la provincia de Pontevedra, constituye el principal foco de estudio de este trabajo fin de grado (en adelante TFG). La situación geográfica del mismo estará fundamentada únicamente en aspectos puramente topográficos, obviando los aspectos tácticos. Para la consecución de este fin es necesaria la definición de una serie de criterios que permitan materializar la correcta localización del PC de la BRIMAR.

La definición de las restricciones queda establecida en base al estudio geográfico y topográfico de la provincia de Pontevedra, así como a diversas doctrinas del Cuerpo de Infantería de Marina (IM) [1]. Durante el desarrollo del TFG se concretará la justificación de los criterios establecidos. Sin embargo, destacaremos ya los principales y más restrictivos:

1. Seleccionar una zona equivalente a una circunferencia de radio 200 m.
2. Garantizar una distancia mínima de 5 km a núcleos de población que cuenten con más de 500 habitantes.
3. Zonas idóneas para la instalación del material que compone el PC en base a aspectos del terreno: tipo de uso de suelo, superficie construible, presencia de masas de agua, etc.
4. Zonas cubiertas para la comunicación y migración del PC. Especialmente aspectos de superficie arbolada y existencia de sendas o caminos forestales en el espacio.
5. Pendientes límites de 10%.

Junto con la situación del PC de la BRIMAR, resulta necesaria la selección de aquellas rutas que presenten mayor idoneidad no solo para la comunicación sino para, llegado el caso, el cambio de localización del PC, ya que en múltiples ocasiones resulta necesario que avance a la par que la situación táctica favoreciendo así el mando y control.

1.2.2 Objetivos específicos

Este TFG constituye un claro ejemplo de la necesidad de empleo de los SIG durante la toma de decisiones en operaciones militares. Existe una amplia gama de herramientas que permiten un nexo entre el *querer* y *poder*. Durante el desarrollo del trabajo se hará uso de una aplicación SIG, por lo que resulta de interés específico la familiarización con este tipo de herramientas así como su empleo de forma ágil. Los objetivos específicos del trabajo engloban los distintos pasos llevados a cabo para la ubicación y diseño de un puesto de mando, y son:

(1) Aplicación de un software SIG. Tratamiento de datos geográficos y operaciones de análisis espacial (geoprocesamiento) sobre los mismos. Todo este tratamiento pasa por la recopilación de datos cartográficos de interés proporcionados por varias fuentes, lo cual resulta en muchas ocasiones un trabajo arduo. En concreto se utilizan capas de información sobre vías o infraestructuras de comunicación, núcleos de población, usos del suelo, espacios naturales protegidos, cobertura forestal, hidrografía y curvas de nivel. Todas ellas asociadas a sucesivos requerimientos basados en la doctrina del PC de la Brigada.

Una vez recopilada toda la información a tener en cuenta para en una correcta configuración del espacio PC, el siguiente paso es establecer las restricciones o matriz criterio más apropiados para la planificación y organización del puesto de mando. Mediante una serie de geoprocesamientos o análisis espacial de las distintas capas temáticas mencionadas, se obtendrá el entorno geográfico que cumple todas las condiciones inicialmente establecidas y que supondrán el emplazamiento idóneo para la puesta en escena del puesto de mando de la BRIMAR [1].

(2) Instalación de la correcta disposición de los elementos que componen el PC. Una vez discriminadas mediante SIG las zonas de interés para la ubicación de nuestro PC, y basándonos en la normativa correspondiente [2], se presenta una propuesta de despliegue y organización defensiva del PC sobre el terreno, teniendo en cuenta los distintos elementos que lo componen y las necesidades que el combate requiera. La Figura 1-1 muestra un ejemplo de disposición del PC.



Figura 1-1 Organización del puesto de mando según la doctrina de Infantería de Marina.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Los Sistemas de Información Geográfica

2.1.1 Concepto de SIG

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) lo conforman un conjunto de elementos que integra y relaciona usuarios, componentes hardware, aplicaciones software, así como procesos; permitiendo el almacenamiento, análisis y manipulación de ingentes cantidades de información vinculados a una referencia espacial. Los SIG permiten la inserción de datos sociales, culturales, económicos y ambientales. Permiten por tanto la integración, edición y análisis de información geográficamente referenciada.

El funcionamiento de los SIG se basa en una estructura de base de datos con información geográfica y espacial (Figura 2-1), así como atributos o información temática (Figura 2-2).

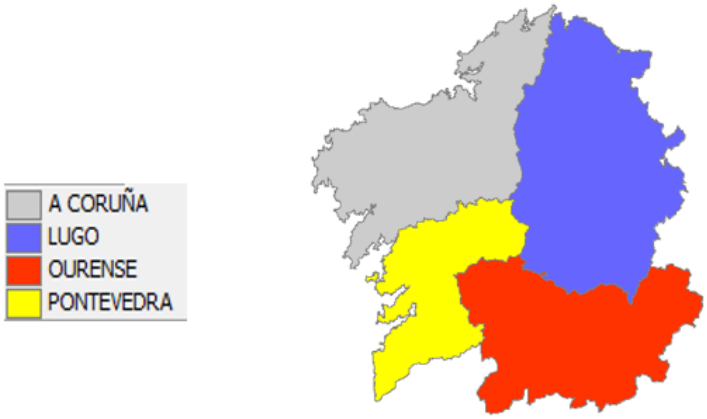


Figura 2-1 Información geográfica y espacial para el caso particular de la comunidad autónoma de Galicia y sus provincias.

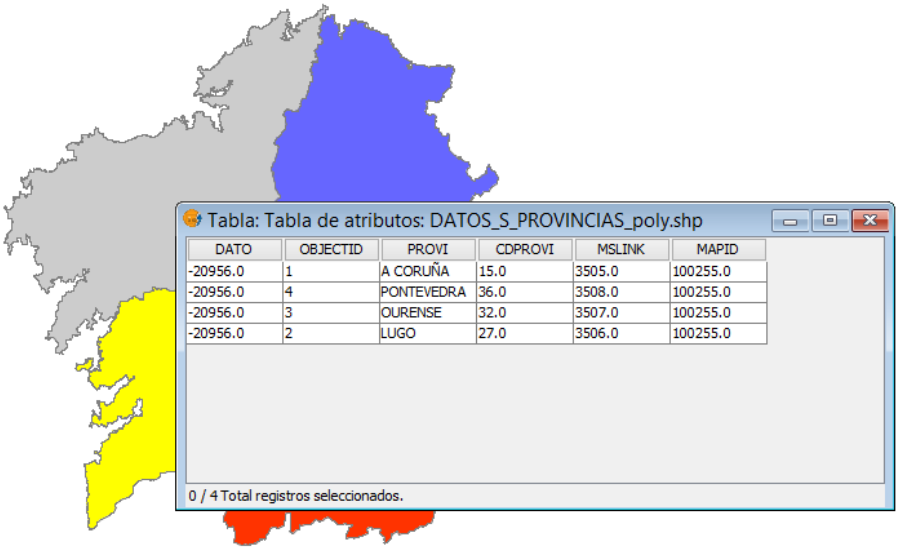


Figura 2-2 Tabla de atributos asociada a los datos geográficos. Contiene la información de cada polígono o unidad espacial.

La razón de ser de los SIG lo constituye su capacidad de gestión de información espacial, pudiendo separar la información en múltiples capas temáticas (Figura 2-3) y pudiendo ser almacenadas de forma independiente a la vez que tratarlas de forma sencilla. Asimismo, permite la relación de información a través de la topología geoespacial de objetos, y de esta forma generar una nueva capa.

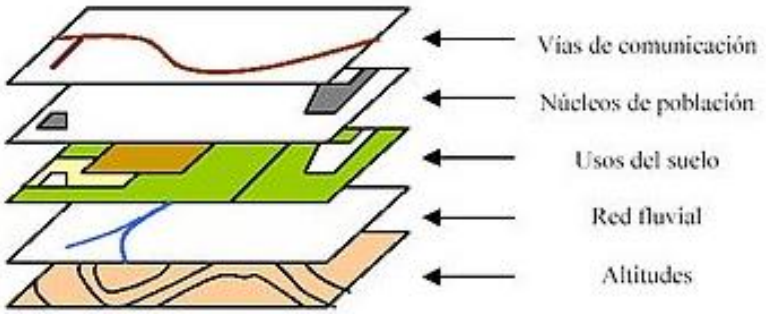


Figura 2-3 Distribución del terreno y sus características en capas temáticas [3].

2.1.2 Historia de los SIG

2.1.2.1 Inicio de los SIG

Los Sistemas de Información Geográfica han experimentado un denso desarrollo en las últimas décadas. Con el paso de los años, la popularización de tecnologías y desarrollos llevados a cabo por estos sistemas han redefinido la disciplina e incorporado elementos impensables en sus inicios. Los SIG ven su inicio en la década de los cincuenta como consecuencia de una serie de factores emergentes en la época, que son la necesidad de información geográfica así como su gestión y uso óptimo, además de la aparición de los primeros computadores. La publicación de la obras como la de John K Wright Elements [4], en 1953, permitieron ampliar el campo de la cartografía cualitativa hasta tal punto que una vez desarrollado el campo de la informática, pudiese plantearse su unión. El primer ejemplo de esta integración de disciplinas lo encontramos en Waldo Tobler (1959) [5], con el desarrollo del sistema MIMO (map in/map out) permitiendo aplicar los computadores al campo de la

cartografía. En este sistema se establecieron los principios básicos para la codificación, análisis y representación de elementos geográficos.

No es hasta la llegada del *Canada Geographyc Information System* (CGIS) [6], a principios de los 60, cuando se desarrolla el primer SIG formal en Canadá bajo la responsabilidad del Departamento Federal de Energía y Recursos, de la mano de Roger Tomlinson. Este sistema estaba dirigido al tratamiento de datos del inventario rural. La aparición del CGIS no solo supuso el nacimiento de los SIG, sino que sentó las bases para el desarrollo de nuevas técnicas tales como la codificación y almacenamiento de información geográfica. Paralelamente a los canadienses, Estados Unidos produce sus propias aportaciones al campo de los SIG. En el Laboratorio de Harvard ve la luz *Synagraphic Mapping System* (SYMAP) [7], en el año 1964. Esta aplicación basaba su entrada en una serie de puntos, líneas y áreas (ver Figura 2-4), punto de inicio de los SIG vectoriales. A pesar de la poca calidad de este software, sus capacidades novedosas en la fecha impulsaron un desarrollo posterior y evolución hacia sistemas más avanzados.

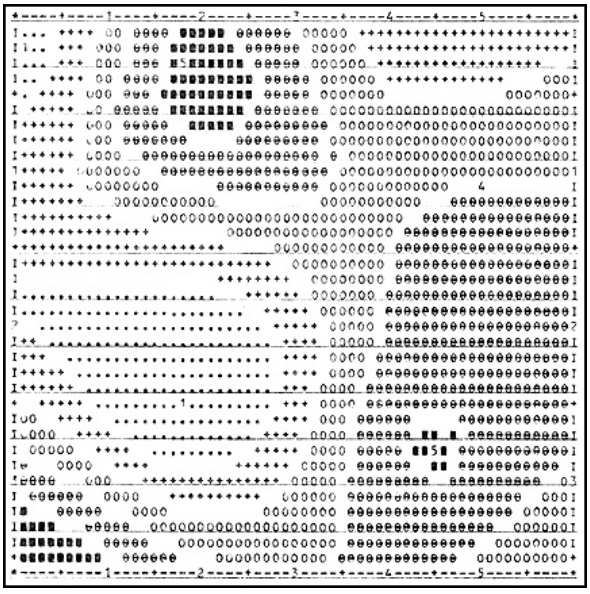


Figura 2-4 Mapa generado por SYMAP [8].

Haciendo uso de elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton desarrolla, en 1969 en el Laboratorio de Harvard, GRID (cuadrícula) [9]. Se trata de una aplicación informática en la cual la información es almacenada en cuadrículas, lo cual marcó un importante hito ya que, hasta ese momento, las cuadrículas regulares eran únicamente empleadas para las salidas de aplicaciones software; no como información de entrada de los mismos. Este hecho supuso el punto de inicio de los SIG ráster [10].

La evolución del SYMAP continúa y nuevos programas son implementados, como por ejemplo el SYMVU [11] (ver Figura 2-5) en 1969, con capacidad de dar una representación 3D. También en el mismo año, el CALFORM [12], que supuso nuevas capacidades de representación y salida de resultados impresos.

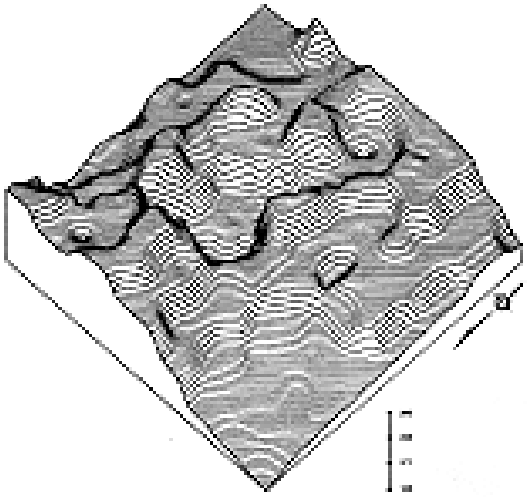


Figura 2-5 Salida 3D del sistema SYMVU [8].

La evolución del GRID trajo consigo a IMGRID (*Interactive Manipulation GRID*) [13], desarrollado por Dana Tomlin [14] y punto de inicio del paquete MAP (*álgebra de mapas*). Dicho sistema conforma todos los elementos que a día de hoy resultan esenciales para un análisis ráster.

Tal y como se describe en la Figura 2-6, podría considerarse la década de los sesenta como la pionera en el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica, pero sin lugar a duda los setenta llevan la etiqueta de la investigación y desarrollo. Los primeros SIG conforman un área de estudio con un futuro prometedor, estructurando una base sólida y herramientas de análisis. Desde aquí, los SIG recorren un largo camino hasta el día de hoy, con fuertes evoluciones viéndose afectados por muchos factores externos en los cuales nos centraremos a continuación. Evolución como disciplina, tecnología y datos.

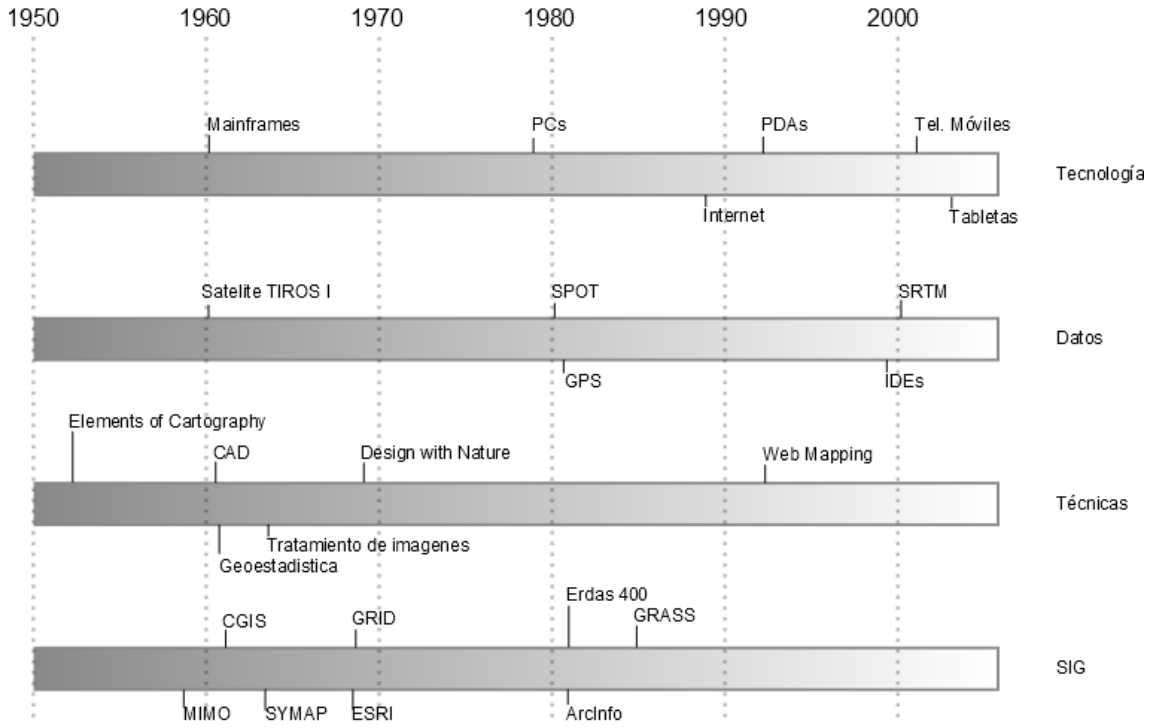


Figura 2-6 Evolución cronológica de los SIG [8].

2.1.2.2 Los SIG como disciplina

Sentadas las bases de los SIG, y consideradas herramientas de gran futuro, surgen múltiples esfuerzos de desarrollo y estabilización de la disciplina.

En 1969, Jack Dangemond funda, junto con su esposa, *Enviromental Systems Research Institute* (ESRI), empresa pionera en el sector de comercialización de los SIG.

A finales de 1970 tiene lugar, tras el desarrollo del CGIS, el primer Simposio Internacional de Sistemas de Información Geográfica en Ottawa (Canadá), lo que asienta al SIG como una disciplina reconocida. En 1985 nace el primer SIG libre, GRASS (*Heographic Resources Analysis Support System*). Llegados a este punto, los SIG dejan de ser sistemas completos y pasan a constituirse en plataformas adaptables sobre las que se fundamentan soluciones particulares. Los SIG se consolidan como herramientas para todo un enorme conjunto de disciplinas beneficiarias, cada una de las cuales los particulariza en su medida.

En 1987 se publica el *International Journal of Geographical Information Systems* y, en 1988, se funda en la Universidad Estatal de Nueva York la primera lista de distribución en Internet dedicada a SIG, junto con la publicación mensual de GIS world (también conocida como *GeoWorld*).

En lo referente a la presencia social, los Sistemas de Información Geográfica han pasado de estar limitados a un uso profesional a ser objeto de consumo; claro ejemplo de ello son servicios como el de GoogleMaps o GoogleEarth, aplicaciones que permiten acercar los SIG a personal no especializado.

2.1.2.3 La evolución de los datos

En su comienzo, los SIG trabajaban con digitalización de cartografía impresa. Las bases de datos geográficas se nutrían de mapas escaneados y digitalizaciones fundamentadas en ellos.

Punto fundamental para la mejora en datos fue el lanzamiento de los primeros satélites de observación terrestre. Técnicas como las aplicadas para la obtención de fotografías áreas durante la primera guerra mundial se tornan en aplicaciones a escala global a raíz de los primeros satélites. En 1960, el TIROS I es lanzado al espacio, y dos años después Rusia pone en órbita el KOSMOS. En 1975 y 1999 fueron lanzados respectivamente LANDSAT 2 y 7, que dieron productos ampliamente extendidos. En 1980 ve la luz la primera compañía que proporciona imágenes de satélite con fines comerciales, concretamente imágenes SPOT. Durante ese espacio temporal, múltiples satélites son lanzados y el resultado de la teledetección se consolida como un negocio. También merecen mención las fuentes provenientes de tecnologías de localización y posicionamiento. La operatividad absoluta del sistema GPS llega en 1981.

En el año 1976, el Servicio Geográfico Estadounidense publica los primeros modelos digitales de elevaciones. En esta tónica, en el año 2000 tiene lugar un hito fundamental; la *Suttle Radar Topography Mission*, dirigido por la NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) y la NASA, que proporcionó información de altitudes de un 80% de la superficie de la tierra.

Con la llegada de la era de la información, los esfuerzos por coordinar las fuentes de datos y la cantidad delos mismos se hacen cada vez más intensos. Con ellos surgen las IDE (infraestructuras de datos espaciales) entre las que destaca en Europa la directiva INSPIRE, fundada en 2007. Cabe destacar la aportación de España en este campo, con el Instituto Geográfico Nacional (IGN) fundado en 1873.

2.1.2.4 El progreso en técnicas y formulaciones

Previo a los primeros SIG, fueron múltiples los pioneros que sentaron las bases de los subsiguientes avances. En 1969, con la publicación del libro *Design with Nature*, Ian McHarg [15]

establece los fundamentos de la superposición y combinación de mapas, hecho que tendría una fuerte repercusión en las capacidades de los SIG. Sin embargo, previo a este acontecimiento, John Snow (1813-1858) dio forma a la considerada por muchos como una de las primeras cartografías analíticas mediante el empleo de mapas para deducir fuentes de brote del cólera en Inglaterra. En la misma línea, Pierre Charles Dupin, en 1819, muestra una distribución del analfabetismo en Francia.

Entre los elementos impulsores de la doctrina de los SIG destaca el estudio del relieve. Trabajos como el realizado en 1972 por Evans Harper [16], constituyen los pilares del análisis geomorfológico. Semejante fue lo sucedido con la rama dela geoestadística, cuyas bases teóricas fueron consolidadas por George Matheron a principios de los setenta y que hoy constituyen una parte no solo característica sino también esencial de los SIG.

Paralelamente a los primeros SIG surgen los primeros programas de diseño asistido por ordenador (CAD). Aunque en sus inicios fueron pensados para una aplicación industrial, pronto ven su lugar en el campo de la arquitectura y delineación de elementos geográficos y son incorporados poco a poco a los SIG. Capacidades de los SIG como la digitalización de la cartografía y la creación de nuevos elementos geográficos serán la fuerte influencia de las aplicaciones CAD.

2.1.3 Funciones de análisis espacial

Se podría afirmar categóricamente que sin la existencia del análisis de los datos geográficos, los Sistemas de Información Geográfica carecen de sentido, ya únicamente el análisis de la información tratada en un SIG nos permitirá explotarla al límite.

Resulta esencial determinar cómo transformar la información espacial de entrada en información. Es precisamente en este punto en el que los SIG conforman una herramienta fundamental para el estudio de estos datos. Durante el trascurso del apartado se podrá vislumbrar como los SIG cumplen su cometido como nexo entre los datos espaciales de entrada y la información que de ellos se extrae.

El análisis espacial [17] queda definido como el estudio cuantitativo de los fenómenos que se manifiestan en el espacio. Resultan por lo tanto esencial los conceptos de posición, superficie, distancia, la interacción entre ellos, así como la referencia espacial de los mismos. La casuística que define las posibles formas de abordar la problemática de análisis espacial resulta muy amplia, así pues a continuación se relacionan distintos tipos de análisis que conforman el concepto teórico que los SIG permiten materializar.

1) Consulta espacial. Constituye el análisis más simple y es el empleado cuando tratamos con cartografía clásica para la obtención de información inmediata. La información contenida en los SIG lleva asociada una serie de atributos, que en estas consultas también podemos obtener (ver Figura 2-7).

Atributo	Valor
POB2002	3951.0
DISTRITO	o condado-paradanta
DISTRITOID	17.0
MSLINK	0.0
MAPID	0.0
C_PRO	36
C_MUN	013
C_PAR	02
CODPARRO	3601302
PARRO	CAMPO (SANTA MARÍA)
SUP	0.0
X	555336
Y	4682943
DATO	0.0
LABEL	CAMPO
SHAPE_AREA	0.0
SHAPE_LEN	0.0
SUPm2	998270.96257

Figura 2-7 Ejemplo de consulta de atributos.

2) Análisis topológico. Consultas realizadas a las capas dan forma a los datos espaciales, no solo pueden estar en relación con la posición de esos datos, sino también con elementos adyacentes a los mismos.

3) Mediciones. Este tipo de análisis se hace posible debido a la referencia espacial de los elementos con los que se trata dentro del SIG. Este análisis parte desde las consultas sencillas como las longitudes (ver Figura 2-8 y Figura 2-9), así como áreas (ver Figura 2-10 y Figura 2-11), perímetros, factores de forma, y parámetros de mayor complejidad como son el estudio de pendientes en una determinada zona.

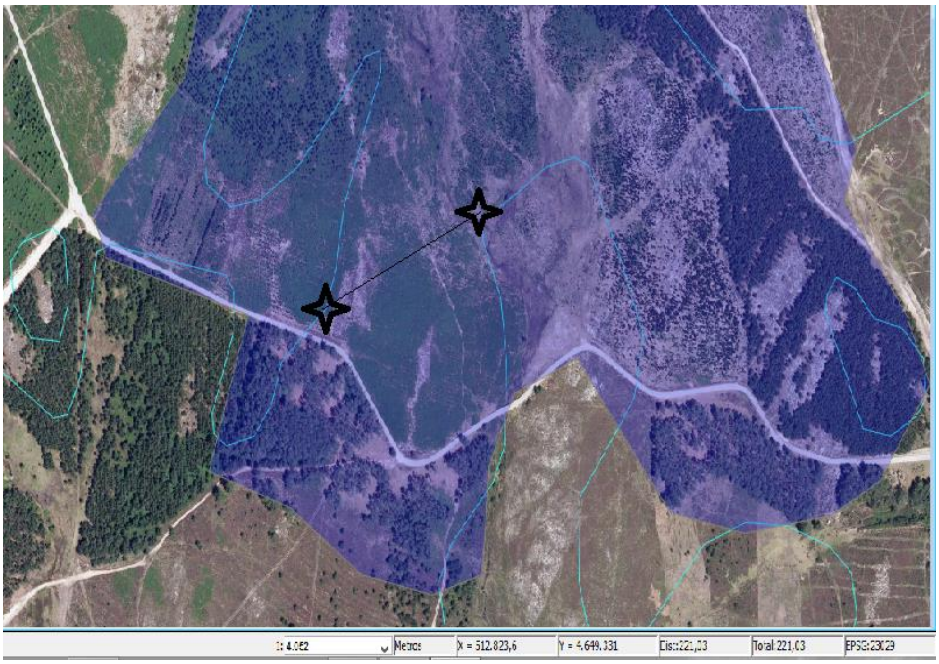


Figura 2-8 Ejemplo de medición de longitud.

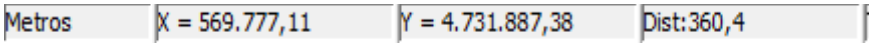


Figura 2-9 Ejemplo de resultado de medición de longitud.

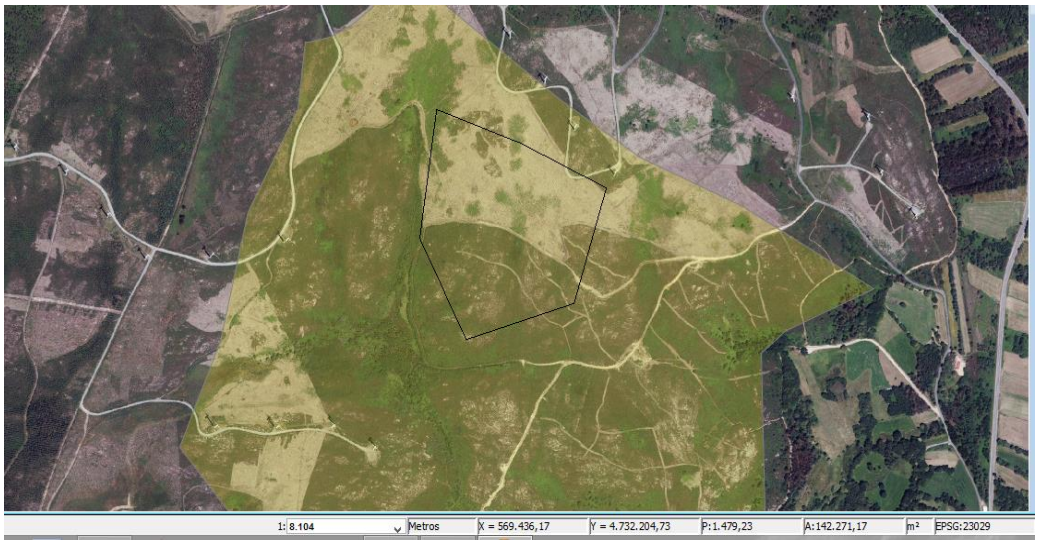


Figura 2-10 Ejemplo de medición de área.

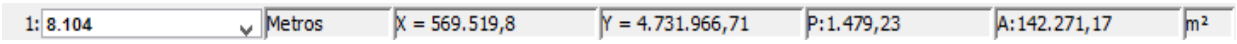


Figura 2-11 Ejemplo de resultado de medición de área.

4) *Combinación.* La combinación y superposición de distintas capas temáticas constituye uno de los principales usos de los SIG. Esto es posible debido a la estructura de los datos de entrada en capas, lo que posibilita la relación de información entre diferentes variables. Previo a la existencia de los SIG, la necesidad de superponer información se hacía patente a través de mapas de acetato.

   Haciendo uso de los SIG podemos de disponer de mapas temáticos o capas con información resultante de varias capas de entrada, e incluso modificarla y estudiarla como una capa totalmente independiente. Ejemplo de esta aplicación es la integración de información completa en una región concreta (véase la Figura 2-12, en la que se representan todos los núcleos de población de la comunidad de Galicia).

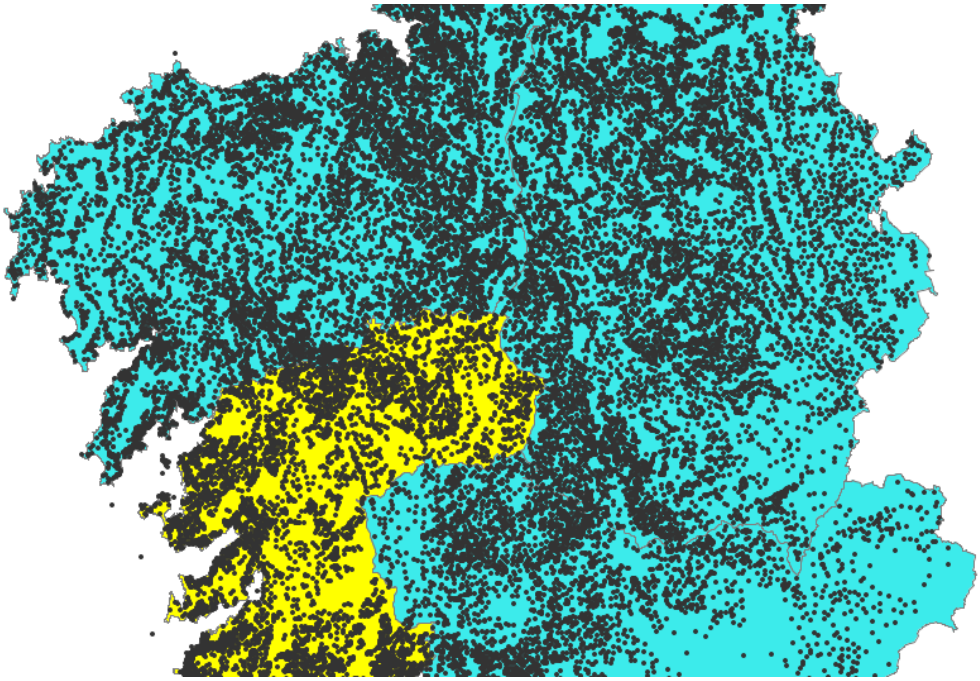


Figura 2-12 Ejemplo de superposición de capas (captura del software gvSIG).

5) *Transformación.* Existe una amplia gama de procesos que podemos reunir en este ejemplo de uso. Uno de ellos resulta de la creación de llamadas áreas de influencia, que permiten vislumbrar de forma gráfica la influencia que un determinado elemento tiene en su entorno. Se obtiene como resultado una transformación geométrica materializada por un nuevo mapa temático donde se ve la zona afectada por el objeto (Figura 2-13).

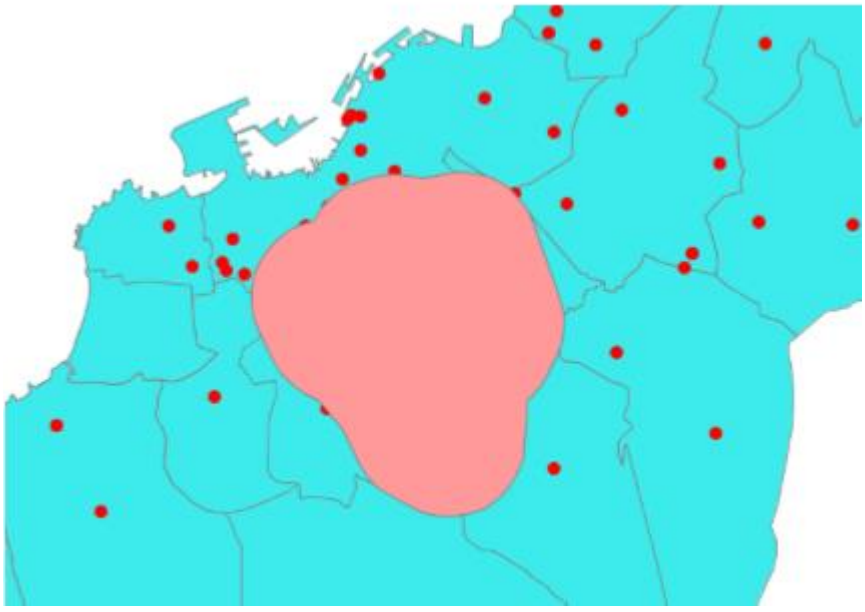


Figura 2-13 Generación de área de influencia (captura del software gvSIG).

La creación de áreas de influencia no es ni mucho menos la única aplicación que encontramos en este uso. Otro tipo de gran importancia son las conversiones entre los distintos sistemas de

coordenadas, reproyecciones, etc., fundamentales para la combinación de datos o superposición de capas.

La transformación de modelos de datos supone otro ejemplo de importancia. La gama de modelos de datos es muy amplia, resulta por tanto de gran interés el poder unificarlo de cara a trabajar con ellos de forma compatible, ya que ciertas operaciones requieren formatos compatibles. Por ejemplo, una operación tan recurrida como es la mencionada combinación de capas requiere de igualdad de formatos entre los datos de entrada mediante aplicaciones como la conversión entre modelos ráster (celdas) y vectorial (Figura 2-14).

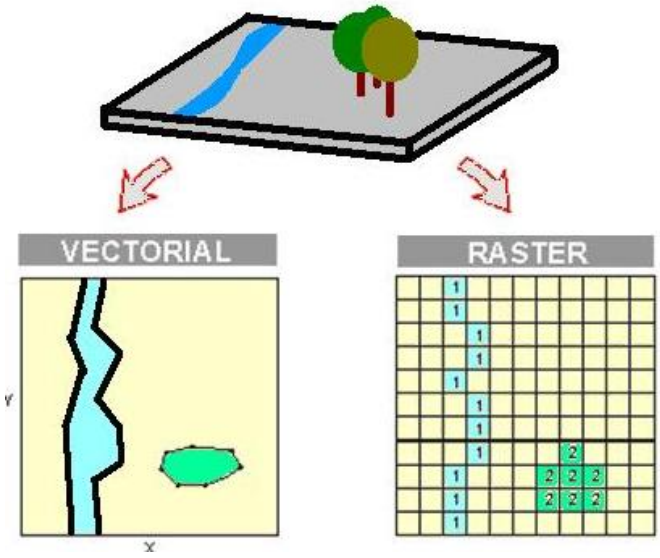


Figura 2-14 Modelo Vectorial vs Modelo Ráster [18].

6) *Análisis de superficies.* Este tipo de análisis adquiere gran preponderancia en los SIG. Parámetros como la pendiente y la orientación, así como el análisis hidrográfico, nos permiten una amplia gama de operaciones. Este tipo de análisis no queda limitado a la superficie terrestre, sino que puede extenderse a parámetros como las densidades, temperaturas, etc.

7) *Estadística.* Los resultados de la estadística clásica tienen sus análogos en datos espaciales, lo que permite a los SIG una calificación cuantitativa de los mismos. Ejemplo de ello son las descripciones de centralidad y dispersión, dependencia espacial, el estudio de patrones geográficos, etc.

8) *Inferencia.* Permite determinar el comportamiento de ciertas variables a lo largo del tiempo, así como su estudio. Constituye una de las herramientas estadísticas más modernas del entorno SIG (véase Figura 2-15, Figura 2-16 y Figura 2-17).

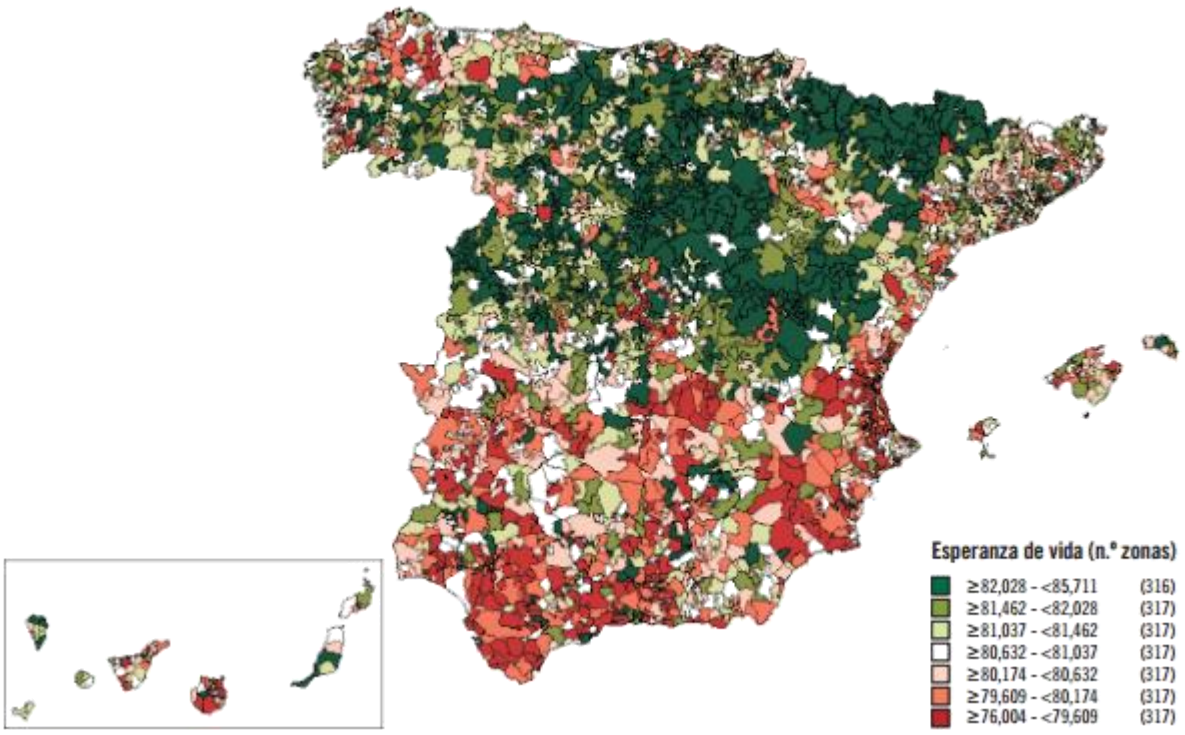


Figura 2-15 Esperanza de vida de mujeres en España (1990-1992) [19].

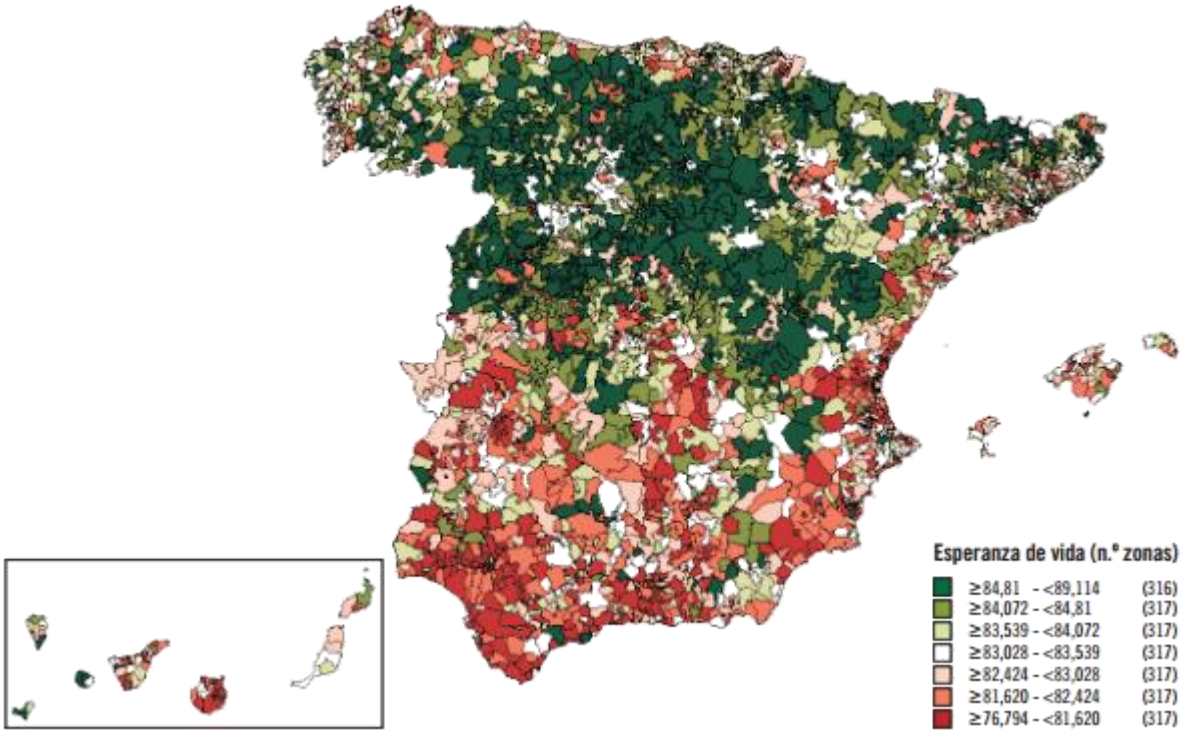


Figura 2-16 Esperanza de vida de mujeres en España (1999-2001) [19].

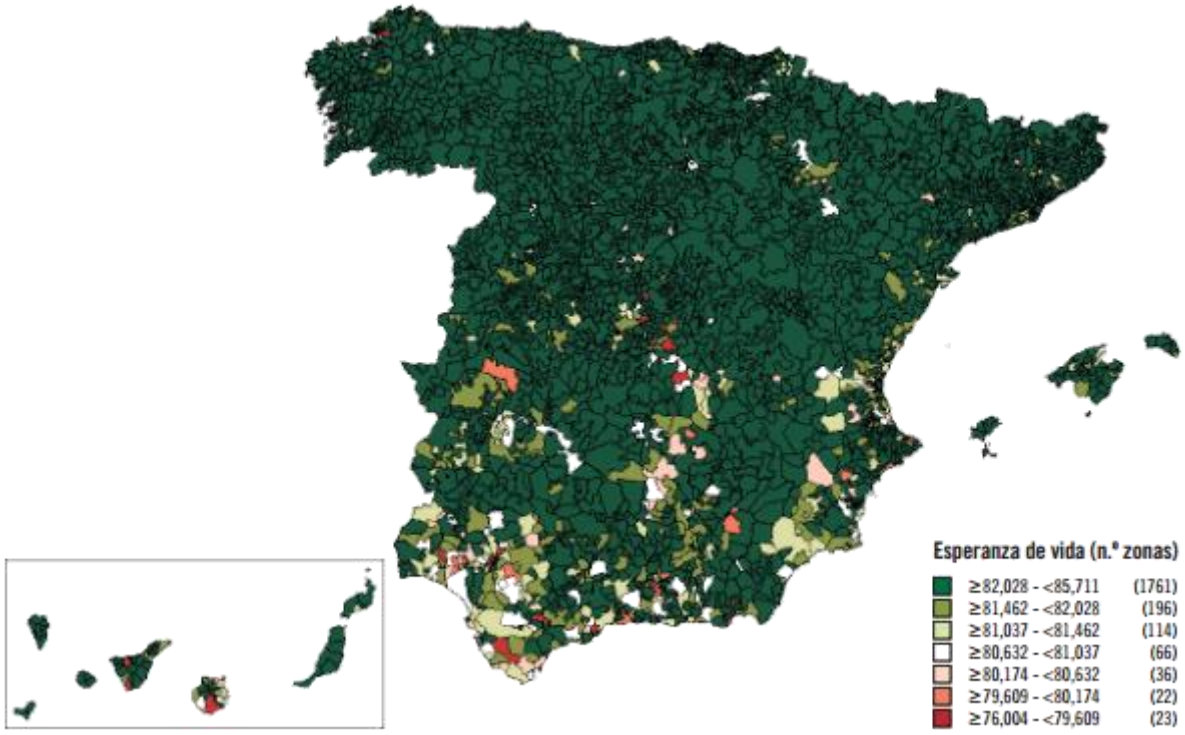


Figura 2-17 Esperanza de vida de mujeres en España (1999-2001), en comparación con la escala (1990-1992) [19].

9) *Toma de decisiones.* Tal y como ya se indicó, el formato de la información con la que trabajan los SIG en capas, hace posible la superposición de mapas temáticos, lo cual posibilitará el estudio de los efectos de ciertos parámetros. Este aspecto supone uno de las características de mayor peso para el entorno militar y la toma de decisiones.

10) *Modelización.* Se basa en la creación de modelos espaciales dentro de un SIG y, a pesar de ser una aplicación aún en desarrollo, existen múltiples modelos en varios campos. Ejemplo de ellos son los modelos de tipo hidrológico que, además de la estructura ráster sobre la que se sostiene, permite el desarrollo de modelos distribuidos. Otro ejemplo son los modelos basados en autómatas celulares, los cuales tienen múltiples áreas de aplicación [20].

Por último, cabe reseñar que todos estos tipos de análisis no son independientes entre sí, y es precisamente esto lo que confiere a las herramientas SIG de una gran potencia.

2.1.4 Los SIG en España

España no se ha quedado ni mucho menos atrás en lo referente a avances en el tratamiento de datos geográficos. Más concretamente, cabe destacar la aportación del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Figura 2-18) [21]. Se trata de una institución nacional creada el 12 de septiembre de 1870 dependiendo del Ministerio de Fomento y que basaba su trabajo en el estudio de la cartografía, triangulaciones geodésicas, así como pesos y medidas. En 1900 pasa a depender del Ministerio de Instrucción pública y, desde este punto, comienza a integrar aspectos astronómicos al incorporarse el Observatorio Astronómico de Madrid en 1904. Tras la guerra civil (1939), debido a su carácter estratégico, pasa a depender directamente de la Presidencia del Gobierno, y no fue hasta el año 1987 que vuelve a depender del Ministerio de Obras Públicas. En 1995 se aprueba un Real Decreto que

reorganiza el IGN en base a la modernización de sus sistemas de producción bajo el mandato del Director General y junto con el Observatorio Astronómico Nacional, la presidencia del organismo autónomo Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), y de las comisiones Nacionales de Astronomía, Geodesia y Geofísica. La estructura vigente a día de hoy es fruto de ligeras remodelaciones de 1995.

El campo de aplicación del IGN es muy amplio. Sin embargo, a continuación se trata de hacer mención a algunas de ellas:

- Observación astronómica y participación en proyectos nacionales e internacionales.
- Mantenimiento de redes geodésicas, así como redes de nivelación y mareógrafos.
- Formación de series cartográficas nacionales del Mapa Topográfico Nacional.
- Desarrollo de sistemas de teledetección y tratamiento de imágenes.
- Actualización del Atlas Nacional de España.
- Estudios de sismicidad.



Figura 2-18 Portal de la plataforma informática del IGN [21].

La doctrina SIG no ha sido olvidada por el IGN. De hecho, algunas de las grandes aportaciones en España, dentro de este campo, han sido desarrolladas por el mismo. A continuación se hace mención a las iniciativas SIG establecidas por el IGN:

SignA (Sistema de Información Geográfica Nacional de España, ver Figura 2-19). Surge en el año 2005 como proyecto Estratégico del IGN/CNIGN con el fin último de aglutinar la totalidad de datos geográficos digitales en un SIG, y de este modo emplearlos de forma conjunta dotándoles de una topología y continuidad.



Figura 2-19 Logotipo SignA [22].

Esta enorme base de datos debe su existencia a dos grandes áreas cuya conjunción resulta fundamental. Por un lado tenemos la llamada área de ESTRUCTURACIÓN, que se basa en el tratamiento de bases topográficas y cartográficas del IGN de cara a conseguir una continuidad y estructuración de las mismas. Por otro lado nos encontramos con el Geoportal del SignA (Figura 2-20), constituido por un portal desde el que es posible el acceso y análisis de datos geográficos a través de Internet.

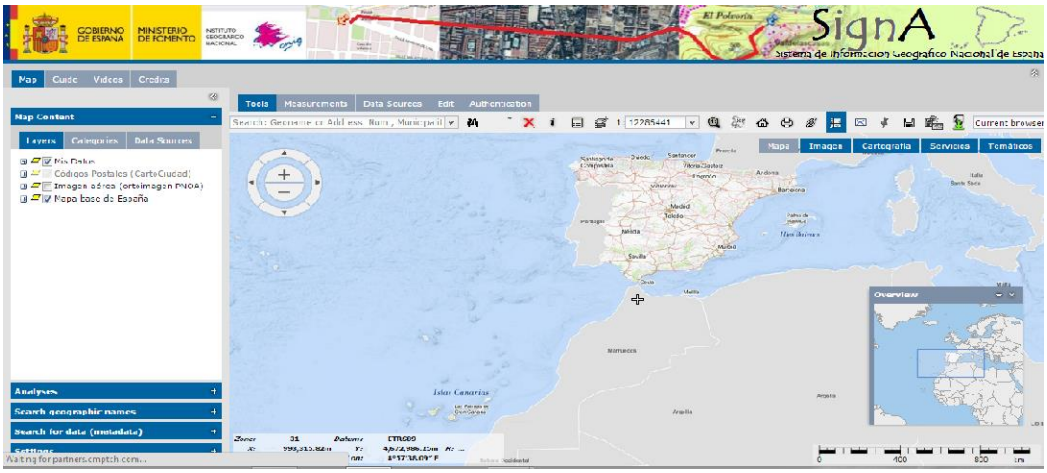


Figura 2-20 Geoportal de SignA [22].

SIANE (Sistema de Información del Atlas Nacional de España) [23]. Proyecto que da soporte, a nivel tecnológico, a la publicación del Atlas Nacional de España, así como a múltiples servicios en el área de cartografía temática y el atlas Nacional del IGN (ver Figura 2-21). En esencia, cualquiera que lo desee puede, a través del portal SIANEWEB, obtener información del contenido del Atlas de España. Además, permite realizar consultas personalizadas de la información geográfica con el fin de establecer una selección de contenido personalizado sin necesidad de que el grupo temático en cuestión este actualizado.

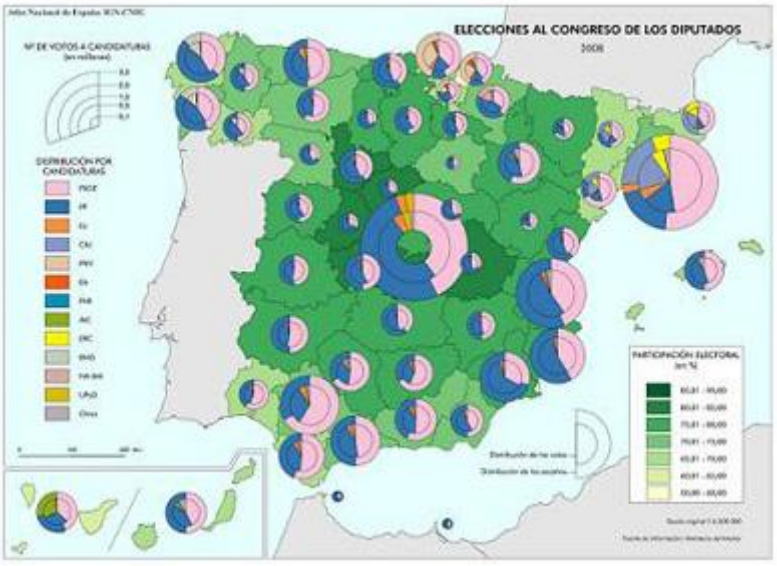


Figura 2-21 Ejemplo de mapa obtenido de SIANE [21].

SIP (Sistema de información Patrimonial) [24]. Herramienta desarrollada por el IGN en colaboración con el Consorcio de Santiago de Compostela y que constituye una base informática para conseguir un conocimiento y gestión de la ciudad histórica. La aplicación puede ser consultada sin necesidad de pertenecer a la comunidad de expertos (ver Figura 2-22).



Figura 2-22 Portal SIP de Santiago de Compostela [24].

2.1.5 Sistema de Información Geográfica Militar

2.1.5.1 Fundamentos del SIG Militar

El SIG militar queda definido como una aglomeración de hardware, software, procedimientos y organización, todos ellos integrados en un sistema de mando y control (C2) posibilitando un almacenamiento, análisis y actualización de información geográfica necesaria para la toma de decisiones.

El SIG militar deberá estar encuadrado en los tres niveles de planeamiento: estratégico, operativo y táctico, lo cual permitirá:

- Estudio de cambios temporales en zonas de operaciones.
- Actualización de posibles zonas objetivo.
- Análisis de líneas de operaciones.
- Localización de objetivos o puntos de interés.
- Evaluación en base a parámetros preestablecidos, posibles zonas para la obtención de agua, despliegue de instalaciones logísticas, ubicaciones factibles para el despliegue de artillería, etc.

Resulta necesario en todos los niveles de conducción militar, que los comandantes de las distintas unidades posean información necesaria para la planificación y conducción de operaciones, más concretamente en el cuerpo de Infantería de Marina (IM), de tipo geográfico; ya que es en este escenario donde tendrá lugar la acción de la fuerza para la ejecución de sus operaciones.

Toda información necesaria debe ajustarse a los factores de enemigo, terreno y tiempo atmosférico. La capacidad para obtener información pasa por los adelantos tecnológicos de la época, los cuales han pasado por saltos cualitativos y cuantitativos, quedando demostrado a lo largo de la historia como los SIG han permitido a los mandos de unidades cumplir sus cometidos de forma eficaz. Por otra parte, la cantidad de información generada por los conflictos modernos resulta ingente, y es

por ello que resulta necesario su canalización y sistematización. Así pues, los SIG deben contar con características particulares que permitan de forma rápida y eficaz satisfacer las necesidades delos Comandantes.

Podemos resumir todas estas características de los SIG en un conjunto de aspectos que tiene presente no solo los niveles de conducción de operaciones, sino también los aspectos militares que influyen en la toma de decisiones:

Necesidades geográficas:

- Disponer de cartografía digital actualizada y conteniendo los atributos del teatro de operaciones, orientada al nivel de conducción en el que se trate.
- Debe contar con información geográfica común, así como específica, y de esta forma fomentar un mayor aprovechamiento.
- La cartográfica debe poder ser editable, de forma que los usuarios puedan materializar cambios generales y concretos.
- La meteorología debe estar presente en su base de datos.

Necesidades tecnológicas:

- Los SIG deben disponer de plataformas hardware y software que permitan satisfacer las necesidades de información geográfica del usuario.
- Deben permitir la posibilidad de consultas inteligentes.
- La configuración ha de ser flexible, de tal forma que pueda compaginarse con imágenes satelitales, GPS, vídeo, ortofotografías, etc.
- Resulta imprescindible la posibilidad de analizar, integrar y procesar información haciendo uso de bases de datos gráficas y relacionales. De este modo, los Comandantes de unidades podrán tomar decisiones validadas al relacionar bases de datos y atributos, incluyendo aspectos como antecedentes de terreno, enemigo, fuerzas propias, etc.

Necesidades de carácter administrativo:

- Debe poder manejar cantidades ingentes de información, porque resulta fundamental el análisis y concreción de los requerimientos de información temática en el entorno militar.
- Precisa de una organización administrativa encargada del análisis y recopilación de los aspectos geográficos necesarios.
- De cara a un uso eficiente de los SIG, es necesario disponer de personal no solo cualificado en entornos computacionales, sino también en materia geográfica.

Los SIG, centrándonos en la atmósfera militar, abarcan multitud de materias, aplicaciones y niveles de conducción. Resulta necesario establecer una clasificación de los mismos que permita ordenarlos para una mayor claridad. A continuación se van a indicar algunas aplicaciones militares de los SIG en el entorno de personal, inteligencia, operaciones y logística.

Desde el punto de vista de personal:

- Despliegue de unidades administrativas.
- Conocimiento de características y antecedentes de la población civil en la zona en cuestión.

Desde el punto de vista de la inteligencia:

- Obtención de información del escenario para establecer posibilidades.
- Discriminación de áreas en función de su peligrosidad en base a características del terreno y la acción enemiga.
- Detección de objetivos de sabotaje.

Desde el punto de vista de las operaciones:

- Localización de objetivos.
- Localización de puestos de observación.
- Estudio de obstáculos naturales y artificiales.
- Determinación de zonas idóneas para la reunión de tropas.
- Selección de zonas para el uso de medios mecanizados, blindados, aerotransportados, etc.

Desde el punto de vista de la logística:

- Establecer una división territorial.
- Localización de zonas adecuadas para desplegar instalaciones logísticas.
- Detección de zonas de explotación hidrográfica.

2.1.5.2 SIG Militar en España

Las necesidades de nuestras fuerzas armadas en zonas de operaciones pasan por múltiples campos, inteligencia, vigilancia, mando y control, etc. Todas estas necesidades, a priori esenciales para la defensa y seguridad de un país, marcan la diferencia entre los países a la vanguardia en el sector militar y los que aún les queda un largo camino a recorrer. Con la llegada de los SIG y los avances tecnológicos se han posibilitado múltiples plataformas de apoyo a estos factores. Un apoyo que podría considerarse imprescindible si se tiene en cuenta la actualidad en los conflictos existentes a nivel internacional., en los tiempos en los que vivimos, que podría considerarse imprescindible.

Son múltiples las empresas nacionales que han participado activamente en la potenciación de sistemas que adaptan el concepto de los SIG a una aplicación puramente militar. Con el paso del tiempo, sistemas iniciales han ido evolucionando a versiones más avanzadas acorde al propio avance de la tecnología en la que se fundamentan. A continuación se hará mención de algunos de los más representativos en el campo militar.

TALOS. Surge como una evolución del sistema PCGACA (sistema de mando y control para grupos de artillería de campaña, 1995-2005), de cara a incorporar el C2 de todos los apoyos de fuego de maniobra terrestre. Este hecho parte a petición de la Armada, dando lugar al sistema PAFAD (2007) para el cuerpo de IM y posteriormente TALOS (2009) al unificarse el uso con el Ejército de Tierra. Aunque inicialmente se desarrolla como un sistema de mando y control para el apoyo de fuegos, posteriormente evoluciona para proporcionar posicionamiento y herramientas de planeamiento y conducción [25].

El sistema cuenta de una serie de subsistema técnicos o módulos y tácticos. Los primeros están dirigidos a los tipos de apoyo de fuego; en otras palabras, Artillería de Campana, Fuego Naval de Apoyo, Morteros de Batallones y Apoyo Aéreo. Los subsistemas tácticos quedan materializados por una serie de herramientas de planeamiento y C2. Asimismo, el sistema dispone de una serie de equipamiento hardware tales como: PDAs rugerizadas, conversores radio, cajas síncronas-asíncronas para los equipos de comunicaciones PR4G de IM, etc.

Entre las posibilidades destaca:

- Matriz comparación de líneas de acción.
- Líneas tácticas y medidas de coordinación.
- Gestión de reglas de enfrentamiento (ROEs).
- Relación y lista de blancos.
- Posicionamiento (Figura 2-23).
- Mensajería táctica.
- Diario de operaciones (crónica).

- Visualización de entidades sobre visor cartográfico.
- Funcionalidades SIG:
    - ✓ Pendientes y perfiles.
    - ✓ Distancias, superficies y volúmenes.
    - ✓ Líneas vistas y ocultas, etc.



Figura 2-23 Visualización TALOS [26].

SEISMO (Sistema de Explotación IStar MOvil) [26]. Este sistema está financiado por la Subdirección General de Tecnologías e Innovación (SUBTECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). SEISMO se localiza en el programa de cooperación multinacional MAJIIC2 (*Multi Intelligence All Source Joint Intelligence Surveillance and Reconnaissance*). Este programa tiene la finalidad de implementar estándares y capacidades que permitan compartir productos ISR (*Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*), así como llevar al límite el uso de recursos de vigilancia y reconocimiento (ver Figura 2-24). Entre las posibilidades de SEISMO tenemos:

- Empleo de recursos de inteligencia, vigilancia, adquisición de blancos y reconocimiento.
- Uso de sensores ISR interoperables y capacidad de fusión y explotación de datos.
- Posibilidad de procesar datos de diversas plataformas (terrestres, marítimas, aéreas y espaciales).
- Intercambio de información en tiempo muy próximo al real, potenciando la toma de decisiones.



Figura 2-24 Uso de la plataforma SEISMO [26].

ATLANTE (Avión Táctico de Largo Alcance No Tripulado Español) [27]. Localizado en el plan estratégico del sector aeronáutico (2008-2016) del Ministerio de Industria y con financiación por parte del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). El proyecto está dirigido por la empresa CASSIDIAN, junto con la participación de otras de empresas españolas en el sector tales como: GMV, Indra y Aires Ingeniera y Sistemas.

El proyecto ATLANTE está diseñado de cara a responder a las necesidades de las fuerzas terrestres militares que se encuentran desplegadas en teatros de operaciones, focalizando sus finalidades en inteligencia, vigilancia y reconocimiento (diurno y nocturno), así como funciones de identificación de blancos, corrección del tiro y evaluación de daños.

Consta de cuatro o más vehículos aéreos no tripulados (UAVs), estación base, unidad de transporte, lanzamiento y recogida de terminales de vídeo remoto (Figura 2-25). Los equipos obtienen la información a través de sensores electrópticos (espectro visible e infrarrojo además de telémetro láser) y la trasmite mediante enlaces de alta velocidad.

Cabe hacer mención de sus características principales, entre las que se encuentran: facilidad de despliegue por tierra, mar y aire, el despegue y aterrizaje en pistas convencionales y no preparadas, junto con el despegue mediante catapulta neumática y su posterior recuperación mediante paracaídas.



Figura 2-25 ATLANTE en el salón aeronáutico de Farnborough en 2014 [3].

MATERIAL CLASIFICADO

MATERIAL CLASIFICADO

MATERIAL CLASIFICADO

MATERIAL CLASIFICADO

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Criterios de selección y fuentes de datos

3.1.1 Restricciones geográficas del PC

Como ya se dijo con anterioridad, la situación del PC de la BRIMAR está sujeta a consideraciones tanto tácticas como geográficas. La doctrina de Infantería de Marina [1], [2], aunque flexible, permite extraer una serie de criterios geográficos base; algunos en forma de recomendación y otros como necesidad:

- Zona adecuada para la instalación de antenas.
- Máximo empleo de cubierta y ocultación.
- Zona tal que permita un mínimo de trabajos de habilitación de caminos.
- Zona que favorezca la toma de helicópteros.
- Suficientemente amplia para facilitar el despliegue de la unidad.

Es necesario mencionar que todos estos aspectos resultan muy generales, y que no podemos olvidar que unos de los principales objetos de un PC es el de conducir operaciones militares. Por consiguiente, el objeto de este trabajo es la obtención de una batería de zonas sobre las que, una vez seleccionadas, se podrá aplicar el componente táctico que complete su localización exacta para una situación definida.

Conocidas ya las características y tipos de PC que puede desplegar la BRIMAR, se tomará como eje de estudio el PC principal, ya que constituye una cota superior en lo que se refiere a requerimientos de medios, personal y espacio. Al mismo tiempo, se aplicará al componente geográfico (objeto de estudio) una serie de limitaciones que, sin llegar a entrar en conflicto con la doctrina en vigor, permitirán acotar de forma más precisa las zonas aptas para la instalación del PC. Llegado este punto, resulta necesario recalcar que estas limitaciones son perfectamente parametrizables en muchos aspectos ya que, como se mencionó con anterioridad, el componente geográfico está sujeto en fuerte medida al componente táctico. Sin embargo, durante el desarrollo del trabajo únicamente será tenido en consideración los aspectos geográficos y del terreno sobre los que se aplicarán una serie de restricciones que a continuación se definen:

- Localización general. Debido a su compleja topografía y a que multitud de maniobras son llevadas a cabo en ella, se ha seleccionado como espacio general la provincia de Pontevedra. En ella se centrará nuestro ámbito de estudio y todas las restricciones que a posteriori se aplicarán.

- Superficie. En base a los componentes que definen el PC de la BRIMAR, y tomando como elemento de estudio el caso más restrictivo permitiendo una cierta superficie de seguridad, se ha tomado como superficie mínima la de 126.000 m^2. Esta medida de área contempla no solo la materialización de los órganos de conducción de operaciones, sino también lo relativo a movimiento de vehículos, puntos de toma de helicópteros, campo de antenas, etc.

- Espacios protegidos. Aunque la doctrina no hace mención alguna sobre la posibilidad de emplear espacios protegidos, de cara a un fututo empleo de las zonas resultado de este trabajo, se han evitado aquellas extensiones del terreno calificadas como protegidas.

- Núcleos de población. Este aspecto resulta de gran controversia ya que, en función de la situación geopolítica en la que tengan lugar las operaciones, podrán convenir unos criterios u otros. Sin querer entrar en la múltiple casuística que envuelve a estos criterios, se ha tomado como restricción que las zonas aptas de instalación disten un mínimo de 5 Km de aquellos núcleos que cuenten con más de 500 habitantes. Este criterio está fundamentado en el caso de encontrarnos en un entorno no afín a nuestra presencia, para evitar en la medida delo posible zonas muy pobladas de difícil control.

- Elevación. Partiendo de la necesidad de ejercer el mando y control, y más concretamente favorecer los aspectos de comunicación en lo relativo a los sistemas de comunicación e información que define el PC, para permitir una mayor cobertura por ejemplo a la instalación de la red radio de combate. La zona debe contar con cierta elevación, por supuesto es imposible establecer una cota mínima sin un estudio previo de la elevación que impera en la provincia de Pontevedra. Por ello, tras un estudio de la provincia, se ha tomado como cota mínima los 400 m, ya que la zona general ronda desde cotas más bajas próximas a la costa hasta cotas de aproximadamente 850 m.

- Pendiente. Son varios factores a considerar en lo referente a la inclinación del terreno: sencillez de instalación física del PC, movilidad de vehículos terrestre y posibilidad de toma de helicópteros. Por ello se hace necesario un estudio previo sobre la orografía o relieve del terreno. Las principales dificultades las representan los vehículos terrestres y los helicópteros. Mientras que los vehículos terrestres permitirían un límite de pendiente de un 25%, los helicópteros ponían su límite superior en 12,5% [28]. Es por ello que el límite seleccionado, considerando un cierto margen de seguridad, ha sido el de 10%.

- Cubierta. El porcentaje de cubierta arbórea es otro de los aspectos que se consideran en la doctrina. Según esto se han evitado zonas boscosas, consecuencia de la dificultad de instalación de los elementos que definen el PC; desde las tiendas que definen los principales órganos de planeamiento y conducción hasta la instalación del campo de antenas y zonas de toma de helicópteros, así como la dificultad de movimiento de vehículos por una zona muy frondosa.

- Comunicación. Este aspecto está reservado a la comunicación mediante vías como carreteras, sendas y caminos. Es de vital importancia y en esto también hace especial mención la doctrina; que el puesto de mando este bien comunicado. Es decir, la presencia de múltiples vías de comunicación de cara a aspectos como la posibilidad de disponer de tren logístico, el movimiento de unidades motorizadas o el propio desplazamiento del PC.

- Catastro. Aunque no representa a priori una restricción, se ha considerado de especial mención la definición de delimitaciones parcelarias de las zonas que definen la batería de posibles situaciones del PC. Este aspecto resulta de gran interés introduciendo, llegado el caso, la necesidad de realizar expropiaciones a consecuencia de la instalación.

3.1.2 Fuentes de datos geográficos

Para hacer posible el objeto del trabajo, resulta necesario disponer de la cartografía digital base, sobre la que se realizarán las consultas y cambios pertinentes. Toda esta información está justificada por los criterios de selección definidos en el apartado anterior; por ello vamos a recurrir a mapas o capas en relación con:

- Núcleos de población. Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) (Figura 3-1) [29]. Creado a partir de la Ley de 31 de diciembre de 1945. Constituye un órgano autónomo con carácter administrativo, adscrito al Ministerio de Economía y Competitividad. Está regido por la Ley 12/1989, de 9 de mayo, de la función Estadística Pública (LFEP), la cual regula actividades estadísticas con fines estatales, amén del Estatuto aprobado por el Real Decreto 508/2001 de 11 de mayo.
  El INE lleva a cabo un papel esencial en la actividad estadística pública, realizando operaciones estadísticas de gran magnitud, tales como: censos demográficos y económicos, cuentas nacionales, estadísticas demográficas y sociales, coordinación y mantenimiento de los directorios de empresas, formación del Censo Electoral, etc.



Figura 3-1 Portal INE [29].

- Usos del suelo. Información obtenida a partir del proyecto CORINE Land and Cover (*Coordination of Information on the Environment*) [30]. Establece la implantación de una base de datos acerca de la cobertura y usos del territorio en la Unión Europea. Dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), a través de la cual se estudian los datos obtenidos de múltiples sensores remotos.
  El principal objeto de este proyecto es el de la captura de datos numéricos y geográficos, a partir de los cuales constituir una base de datos europea a escala 1:100000 de la cobertura y uso del territorio, a través de imágenes obtenidas por los satélites LANDSAT y SPOT. Cabe destacar que esta iniciativa no constituye un proyecto de clasificación automatizada, sino de fotointerpretación, constituyendo un punto de apoyo para toma de decisiones en lo referente a la política territorial en la Unión Europea.

- Delimitación política de la comunidad de Galicia y curvas de nivel. Capas facilitadas por la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE) (Figura 3-2) [31]. Surge en el año 2004, como un proyecto bajo la cooperación de organismos e instituciones de los tres

ámbitos de la administración pública (general, regional y local), entorno universitario y sector privado. Está fundamentado como un sistema distribuido en la Red, que da la posibilidad de buscar, localizar, visualizar y descargar datos geográficos de servidores pertenecientes a diversos organismos cartográficos de España; ofreciendo mapas, ortofotos, imágenes satelitales, catastro, etc.



Figura 3-2 Geoportal IDEE [31].

- Carreteras, sendas y caminos. Datos descargados del catálogo de productos del Instituto Geográfico Nacional (Figura 3-3) [21].

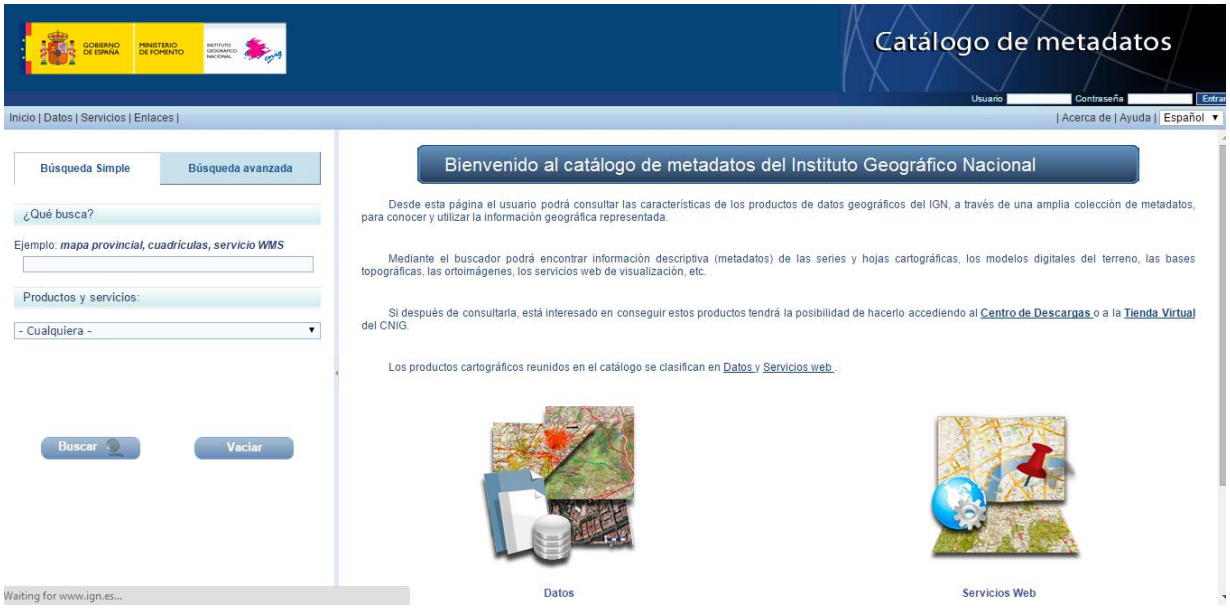


Figura 3-3 Catálogo de productos del IGN [21].

- Hidrográficos y espacios naturales. Información facilitada por el catálogo cartográfico y SIG del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Figura 3-4) [32]. Las posibilidades en el ámbito de la cartografía y SIG nos permiten la visualización y consulta de datos geográficos en el ámbito particular y profesional, a través de la publicación de

cartografía en relación con la protección del patrimonio natural, del mar, del agua, la biodiversidad, así como del desarrollo rural, recursos agrícolas, etc.



Figura 3-4 Acceso al catálogo de descargas del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [32].

3.2 La herramienta de trabajo

3.2.1 Introducción al gvSIG

El origen de la aplicación gvSIG (Figura 3-5) data del año 2004, consecuencia del paso a software libre de las aplicaciones informáticas de la Consejería de Infraestructura y Transporte (CIT). A pesar de que su finalidad inicial estaba definida por los objetivos de la CIT, estos pronto se verán ampliados a consecuencia de la expansión tecnológica y del conocimiento debido al concepto de software libre.



Figura 3-5 Logotipo gvSIG [33].

Esta aplicación está dirigida al tratamiento de información geográfica. Destaca su interfaz sencilla e intuitiva, que nos va a permitir el acceso a los formatos más expandidos como el ráster y el vectorial. GvSIG nos permitirá también la integración de datos en una misma vista, locales y remotos, a través de los servicios proporcionados por WMS (*Web Map Service*), WFS (*Web Feature Service*), WCS (*Web Coverage Service*) o JDBC (*Java Database Connectivity*).

El software está pensado para usuarios finales de la información geográfica, profesionales o personal de las Administraciones Públicas. Consecuencia de su componente I+D+i, resulta también de gran atractivo para ambientes universitarios.

3.2.2 Funciones de análisis espacial: geoprocesamiento

GvSIG constituye un Sistema de Información Geográfica que nos permitirá el tratamiento de datos espaciales, amén de realizar análisis complejos sobre los mismos [34]. Las funciones de análisis o geoprocesamiento que esta aplicación nos permite son muy amplias, por ello se ha optado por describir aquellas consideradas como las más representativas, así como las de mayor uso para el trabajo.

- Filtros. La función filtro permite realizar selecciones mediante filtros, definiendo lo que se desea seleccionar, incluyendo atributos, operadores y cálculos (Figura 3-6).



Figura 3-6 Ventana especificación de filtros.

- Diferencia. Constituye uno de los llamados geoprocesos. Esta función trabaja con dos capas: 'capa de entrada' y 'capa de solape', y nos permitirá obtener aquellas zonas de una capa que no están presentes en la otra ver Figura 3-7.

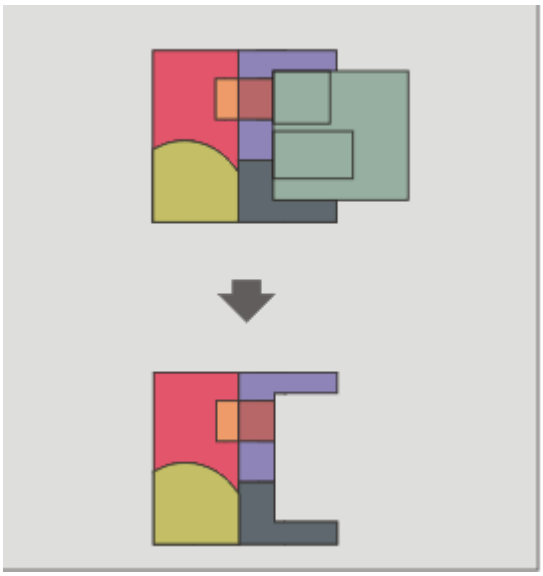


Figura 3-7 Ejemplo gráfico del geoproceso diferencia [34].

- Intersección. Al igual que ocurre con el geoproceso 'Diferencia', en este caso también se trabaja con dos capas, la de entrada y la de solape. Conocida como el operador 'AND', nos permitirá obtener la intersección con las diferentes geometrías de la capa de solape, dando lugar a un nuevo elemento por intersección (Figura 3-8).

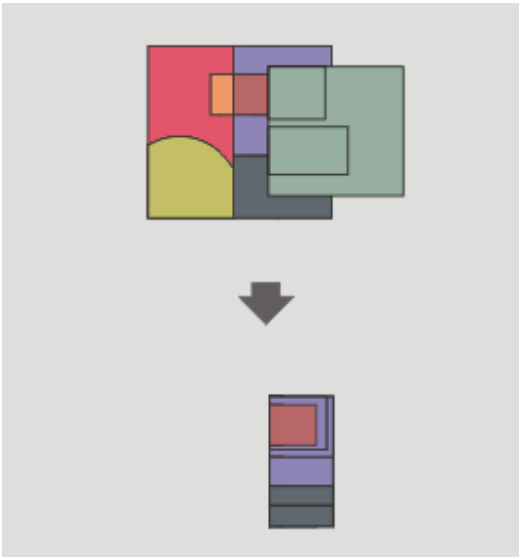


Figura 3-8 Ejemplo gráfico del geoproceso intersección [34].

- Área de influencia. También conocido como buffer. En este geoproceso se crea una nueva capa, como zonas de influencia en torno a las geometrías de los elementos vectoriales de la capa de entrada. La geometría que define la capa de entrada puede estar conformada por puntos, líneas o incluso polígonos. El resultado es un conjunto de anillos concéntricos equidistantes a la geometría de entrada (Figura 3-9).

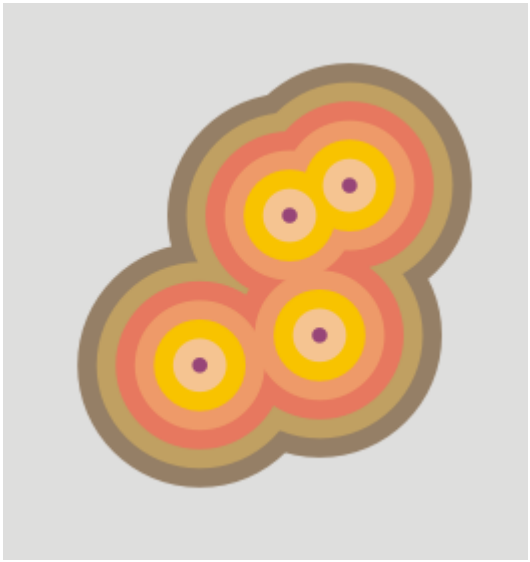


Figura 3-9 Ejemplo gráfico del geoproceso área de influencia [34].

3.3 Metodología

En este apartado se indicarán, paso a paso, las distintas fases llevadas a cabo con la aplicación gvSIG para la consecución del trabajo en cuanto a la selección de las posibles zonas que serían aptas para la instalación del PC.

En primer lugar, debemos situarnos en la provincia de Pontevedra. Para ello, una vez abierta la aplicación, procedemos a crear la VISTA que incluirá todas las capas necesarias para la realización del estudio (Figura 3-10). Es muy importante que configuremos la vista con el sistema proyectivo adecuado acorde a la zona geográfica a trabajar. En este caso, se empleó el sistema de coordenadas EPSG23029 (lo cual nos permite saber que trabajaremos con el DATUM ED50 en el huso 29) y con unidades de medida en metros.

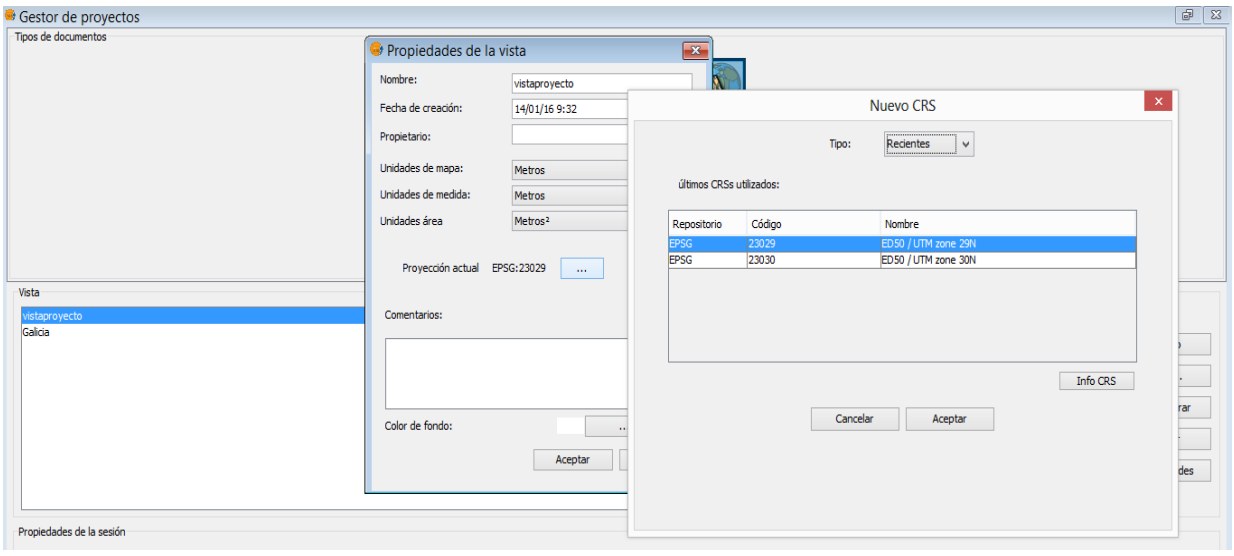


Figura 3-10 Configuración de la vista principal.

Una vez configurada la vista, o capa 'madre', se procede a introducir la capa de provincias de Galicia, y a continuación se aplica un filtro para quedarnos únicamente con la provincia de Pontevedra (Figura 3-11).

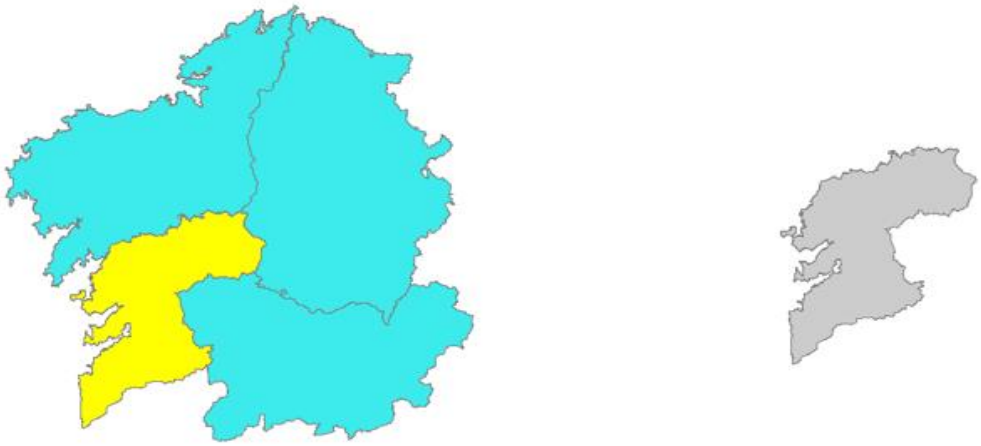


Figura 3-11 Aplicación de la operación filtro sobre la provincia de Pontevedra.

Introducimos la capa que refleja los ayuntamientos de Galicia, seguido del uso del geoproceso intersección, con la capa resultado anterior, para continuar trabajando únicamente con la provincia de Pontevedra. Como resultado, obtenemos el límite de la provincia de Pontevedra, con los atributos ayuntamientos (Figura 3-12).

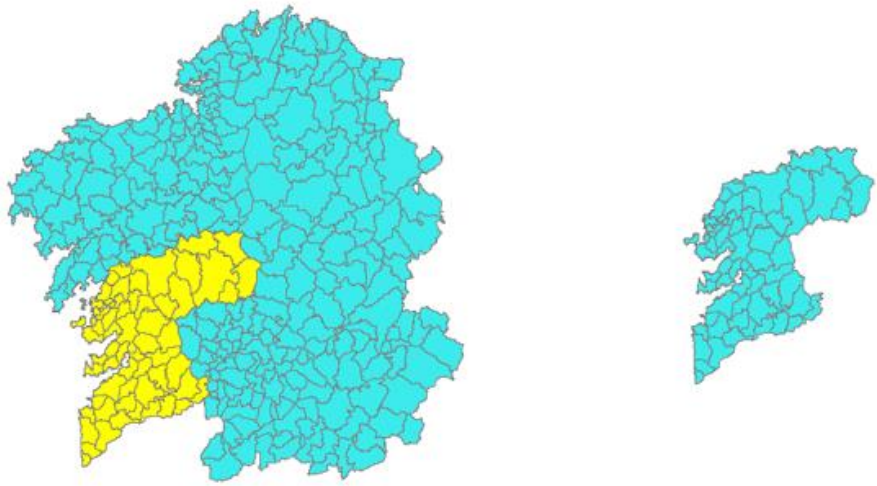


Figura 3-12 Trabajamos con los ayuntamientos de Pontevedra.

Repetimos el proceso, pero en esta ocasión con la capa relativa a las parroquias de Galicia. De esta forma, se obtiene una capa con la información de ayuntamientos y parroquias de la provincia de Pontevedra (Figura 3-13); extensión sobre la que se centrará el estudio.

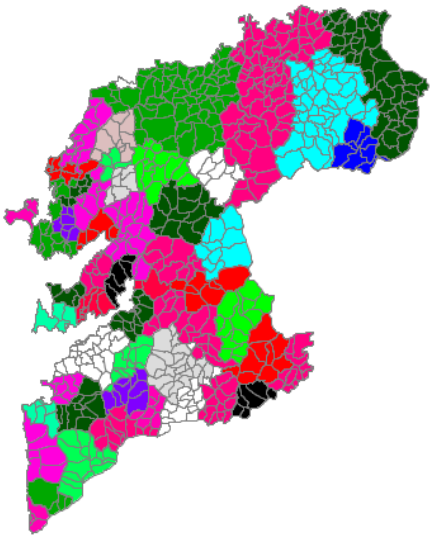


Figura 3-13 Obtención de la capa de parroquias y ayuntamientos de la provincia de Pontevedra.

Una vez que tenemos definida la información administrativa territorial de la zona general, centramos nuestra atención en los usos del suelo y selección de aquellos que permitirían la instalación del PC. Para ello, tras la incorporación de la capa relativa a usos del suelo de Galicia, se procederá a realizar un filtro para quedarnos con aquellos usos que en los que la instalación se considera viable: bosque mixto, matorral de bosque mixto, matorral de frondosas, otras frondosas de plantación, zonas industriales y zonas quemadas.

A continuación se vuelve a aplicar el geoproceso intersección para quedarnos únicamente con la provincia de Pontevedra (Figura 3-14). Como se puede observar en la Figura 3-14, los usos del suelo más representativos son bosque mixto y matorral de bosque mixto.



Figura 3-14 Capa de los usos del suelo viables para la instalación del PC.

En la siguiente fase se procedió a eliminar todos los espacios protegidos de nuestra zona general, provincia de Pontevedra, y de esta forma evitar la instalación del PC en zonas protegidas. En la Figura 3-15 se pueden observar los espacios protegidos existentes en la provincia de Pontevedra.

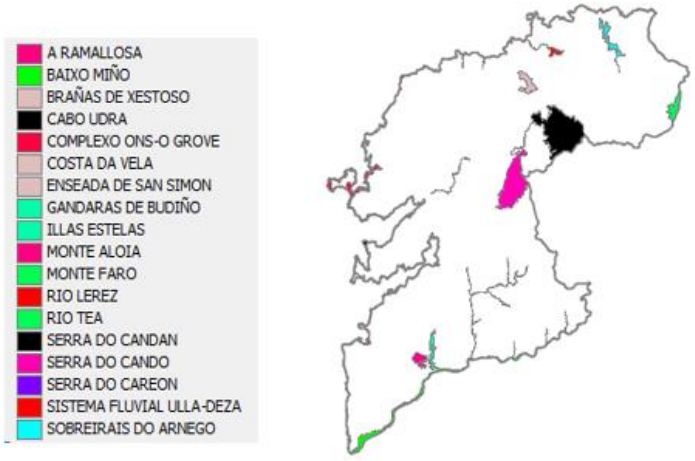


Figura 3-15 Espacios protegidos de Pontevedra.

A continuación, por medio del geoproceso diferencia, se eliminan los polígonos pertenecientes a espacios protegidos de nuestra capa principal (Figura 3-14), obteniéndose como resultado la Figura 3-16.

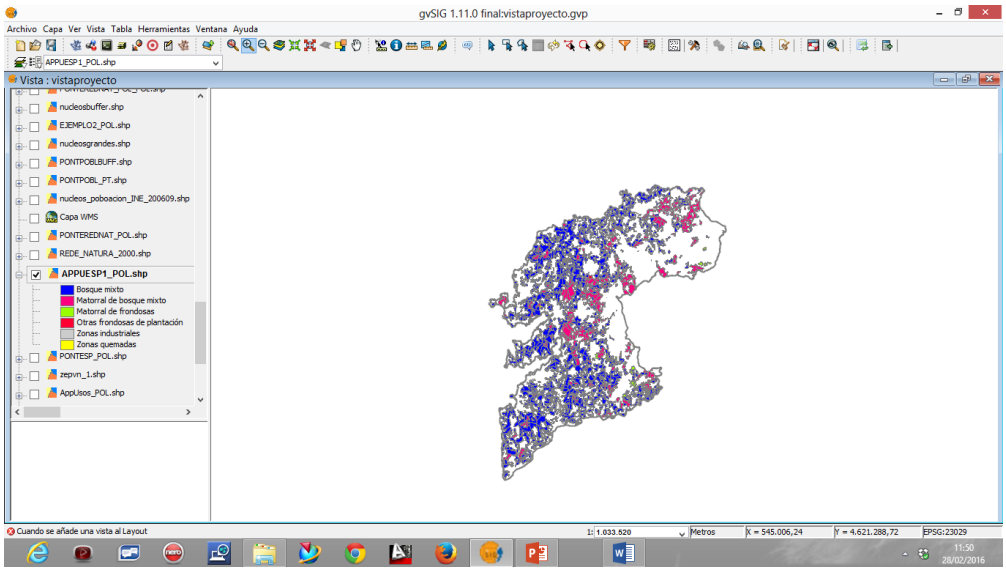


Figura 3-16 Capa principal sin los espacios naturales.

El siguiente paso consistió en el análisis de cercanía del PC a núcleos de población. Para ello se introdujo la capa relativa a todos los núcleos de población de Galicia (Figura 3-17) y, a continuación, se hizo una operación intersección para trabajar únicamente con la extensión correspondiente a la provincia de Pontevedra (Figura 3-18).

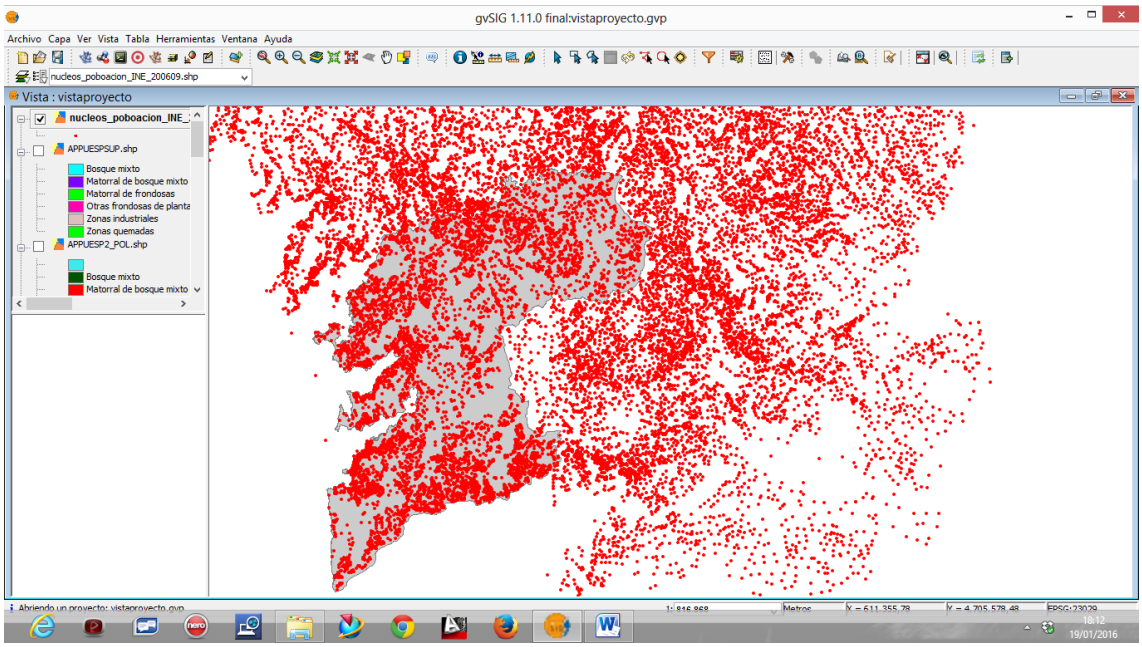


Figura 3-17 Núcleos de población en la comunidad autónoma de Galicia.

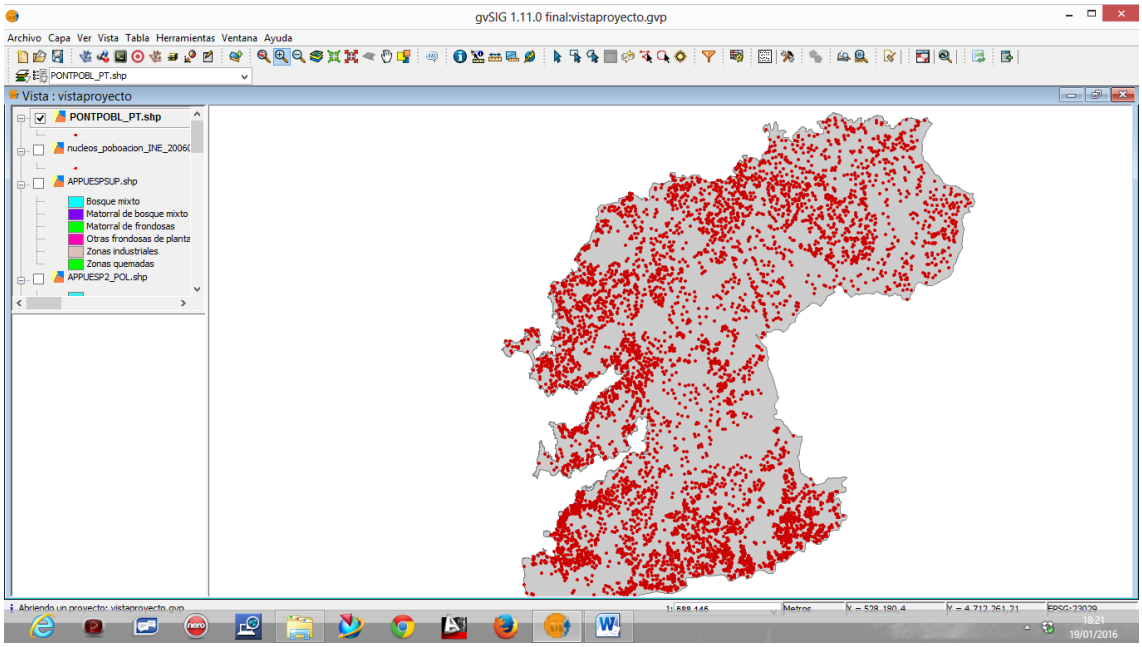


Figura 3-18 Núcleos de población en la provincia de Pontevedra.

Teniendo en cuenta las restricciones presentadas en el apartado 3.1 de selección de zonas óptimas, se aplicó un filtro para quedarnos únicamente con aquellos núcleos de población que cuentan con más de 500 habitantes (Figura 3-19).

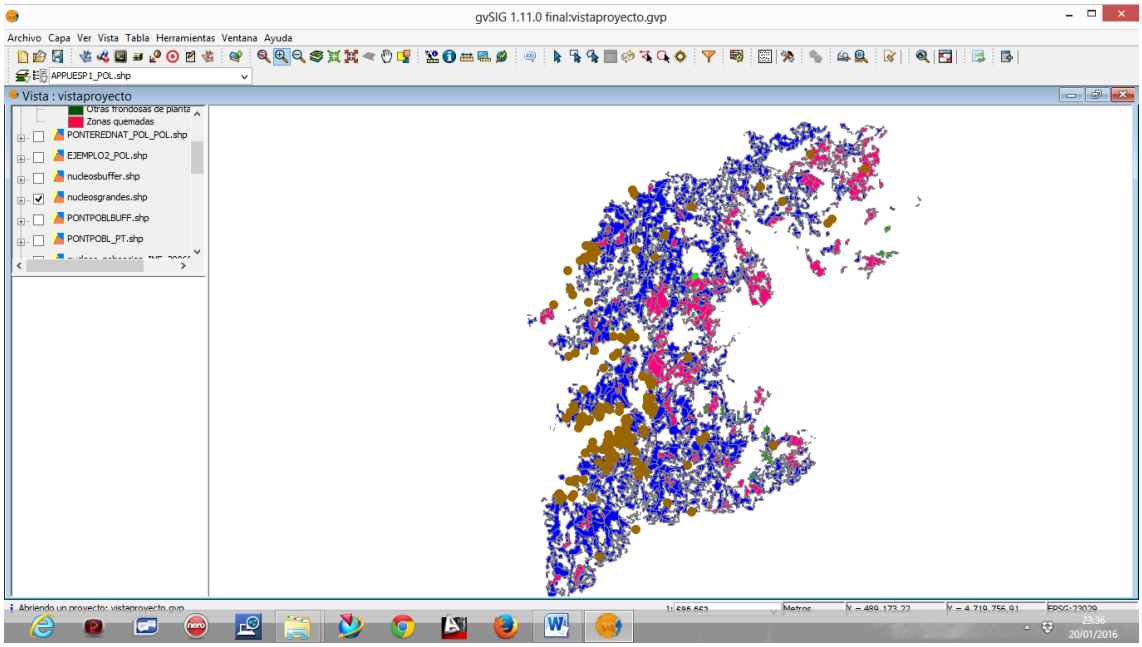


Figura 3-19 Núcleos de población de la provincia de Pontevedra con más de 500 habitantes.

El siguiente proceso consistió en delimitar aquellas zonas que se encontrasen a menos de 5 Km de distancia respecto a los núcleos de población con más de 500 habitantes y eliminarlas de nuestra capa principal. Para ello, se realizó un buffer (o zona de influencia) con un radio de 5000 m alrededor de cada núcleo de población (Figura 3-20).

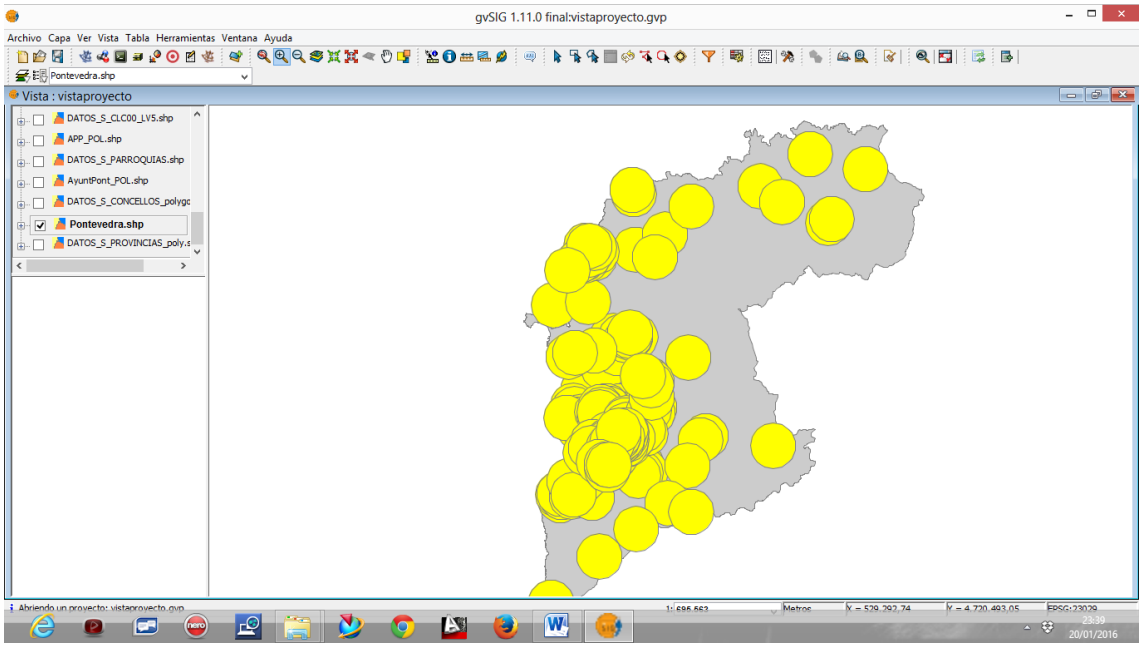


Figura 3-20 Representación de áreas de influencia en torno a los núcleos de población con más de 500 habitantes.

Seguidamente, mediante la operación diferencia, nos quedaremos con aquella zonas de la provincia de Pontevedra no afectada por estas áreas de influencia (Figura 3-21).

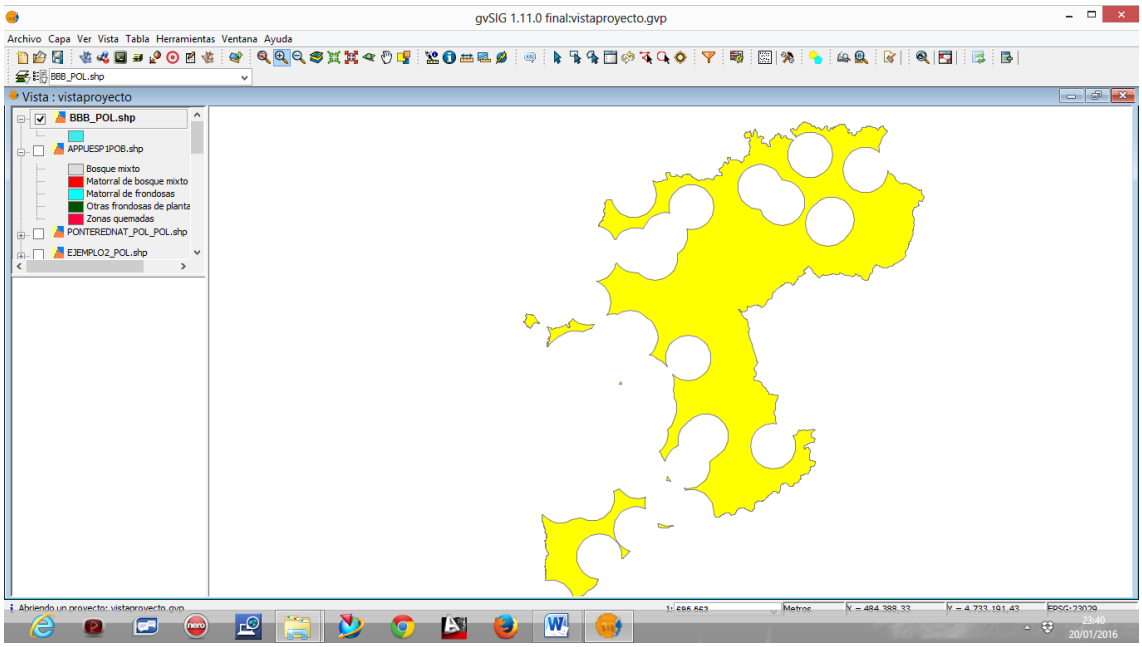


Figura 3-21 Zonas de la provincia de Pontevedra fuera del alcance de las áreas de influencias.

Mediante la operación "selección por capa", el gvSIG permite seleccionar los elementos de una capa activa en base a la capa de entrada en la función. De este modo (Figura 3-22), a partir de esta última capa (Figura 3-21) y la capa resultado principal anterior (Figura 3-16), podemos seleccionar aquellas zonas no catalogadas como espacios protegidos y que presentan un uso del suelo viable con una distancia mínima de 5 Km respecto a núcleos de población de más de 500 habitantes. La Figura 3-23 muestra el resultado de esta operación.

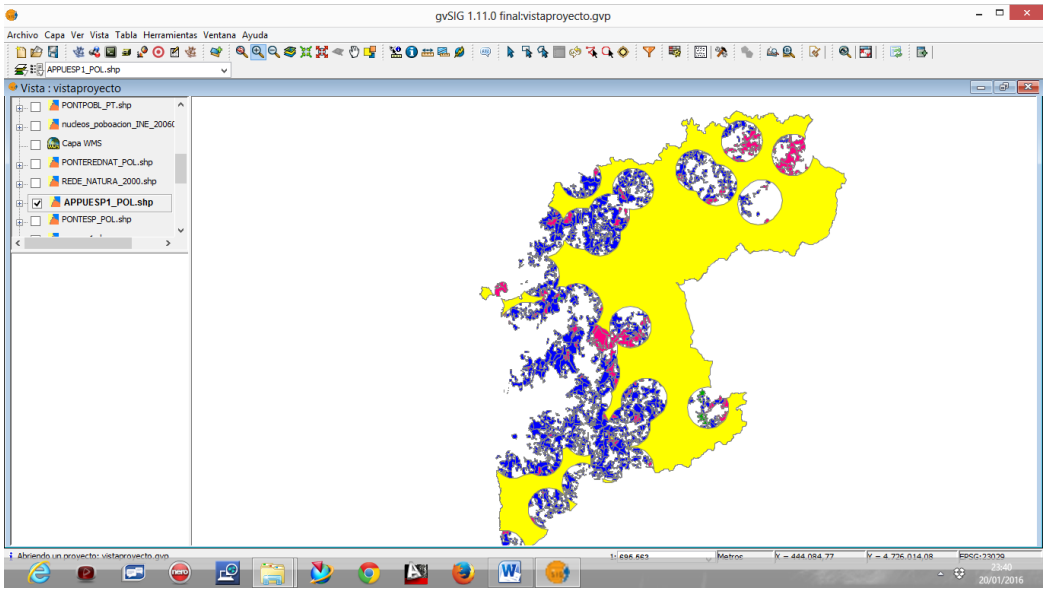


Figura 3-22 Selección por capa.

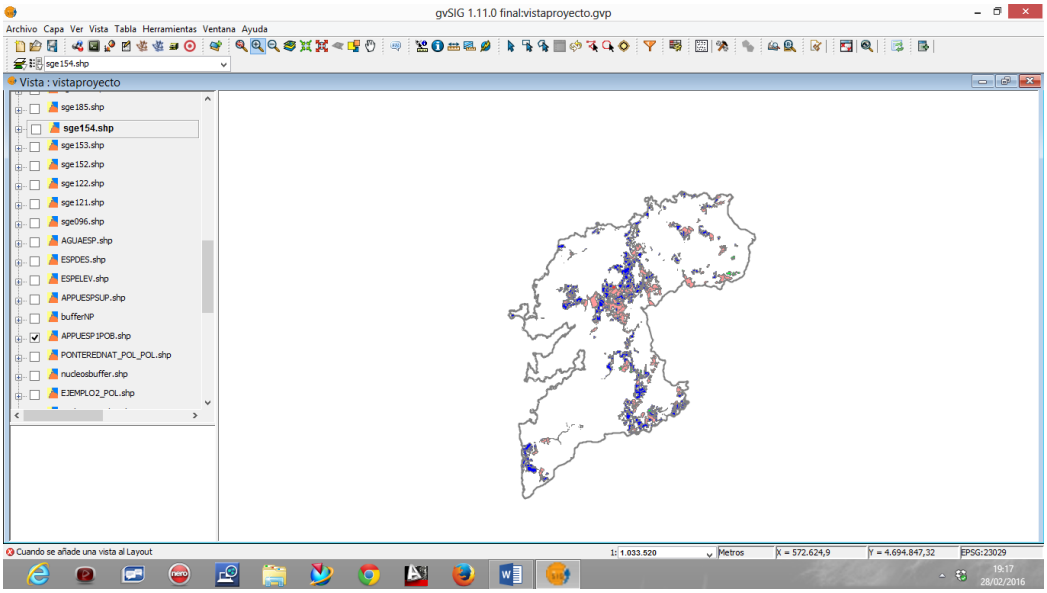


Figura 3-23 Zonas tras aplicar la última restricción respecto a aspectos poblacionales.

Ya que la zona necesaria para la instalación del PC requiere un mínimo de superficie (126.000 m^2), el siguiente paso será eliminar aquellas zonas de la capa principal resultante en la Figura 3-23 que no cumplan esta condición. Lo primero que se hizo fue crear un nuevo campo en la tabla de atributos de la capa (Figura 3-24) para, a continuación introducir una fórmula para el cálculo de la superficie (Figura 3-25) de los distintos polígonos existentes en la capa.

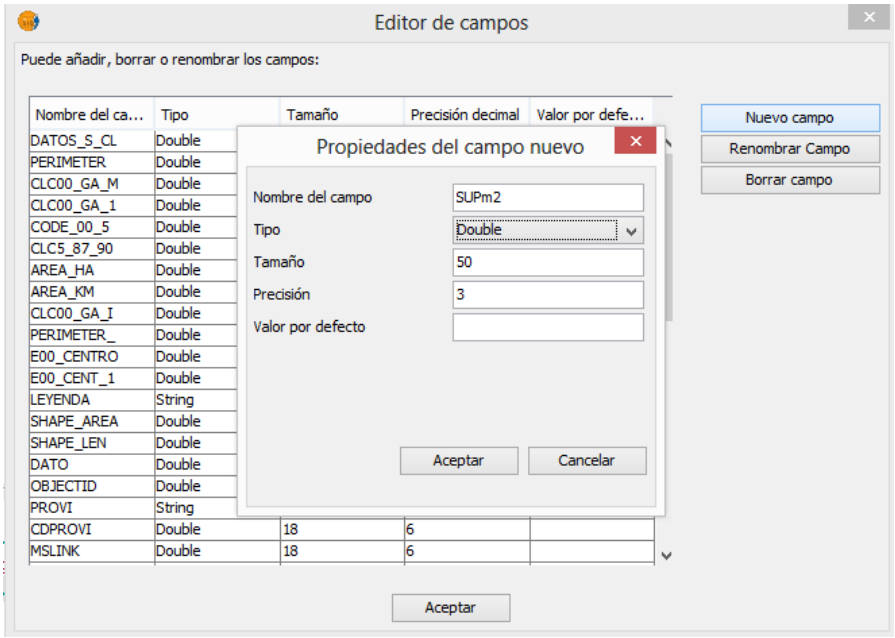


Figura 3-24 Creación del campo relativo a la superficie en m^2.

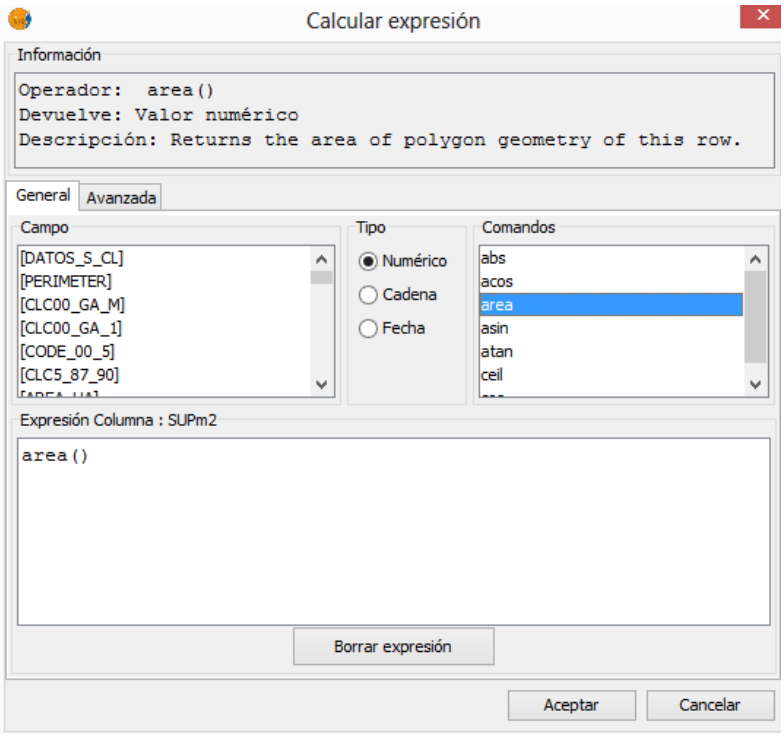


Figura 3-25 Introducción de la expresión "área" para el cálculo de superficies en el nuevo campo creado.

Una vez calculada la superficie de los nuevos polígonos resultantes de todos los procesos de filtrado, diferencia, intersección y selección por capa anteriores, se procedió a realizar otra operación de filtrado para quedarnos únicamente con aquellas zonas con una superficie mayor o igual a 126.000 m^2 (Figura 3-26).

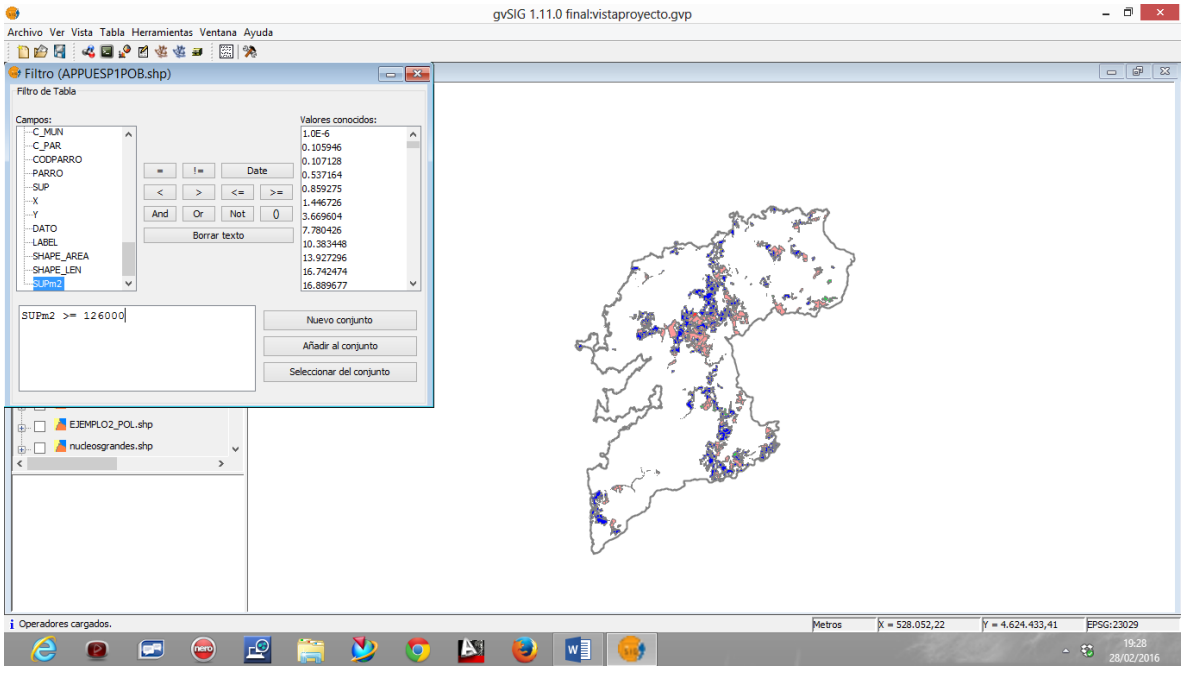


Figura 3-26 Filtro para la eliminación de zonas que no cumplen el mínimo de superficie necesaria.

Los siguientes pasos corresponden a evaluación del terreno. En primer lugar, se tuvieron en cuenta las características del relieve; elevación o altimetría y pendiente. Se eliminaron aquellas zonas cuyo punto más alto tuviese una elevación inferior a 400 m. El proceso englobó las siguientes fases: (1) se cargaron las capas correspondientes a las curvas de nivel (altimetría) de la zona de estudio y se consultó el atributo "elevación" (Figura 3-27) para cada polígono o zona de la capa de resultados obtenida del proceso anterior, (2) selección en la tabla de atributos de las zonas que no cumplen dicha condición (Figura 3-28) y (3) eliminación de las mismas (Figura 3-29).

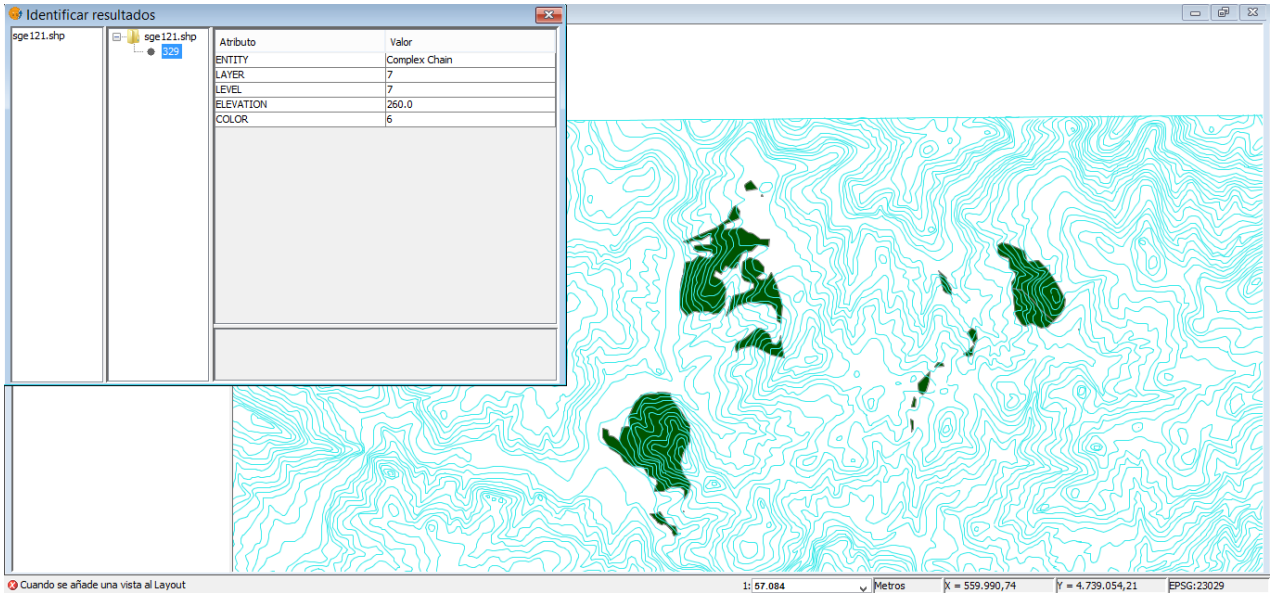


Figura 3-27 Búsqueda de aquellas zonas que no cumplen la condición de elevación preestablecida.

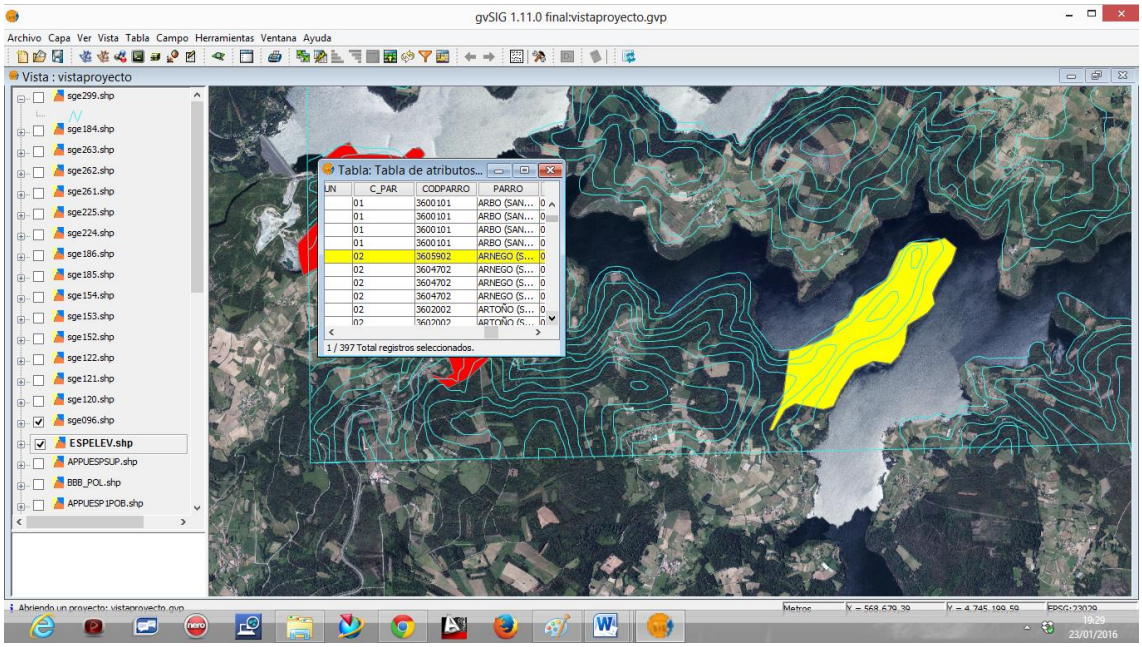


Figura 3-28 Ejemplo de selección de zonas a eliminar.

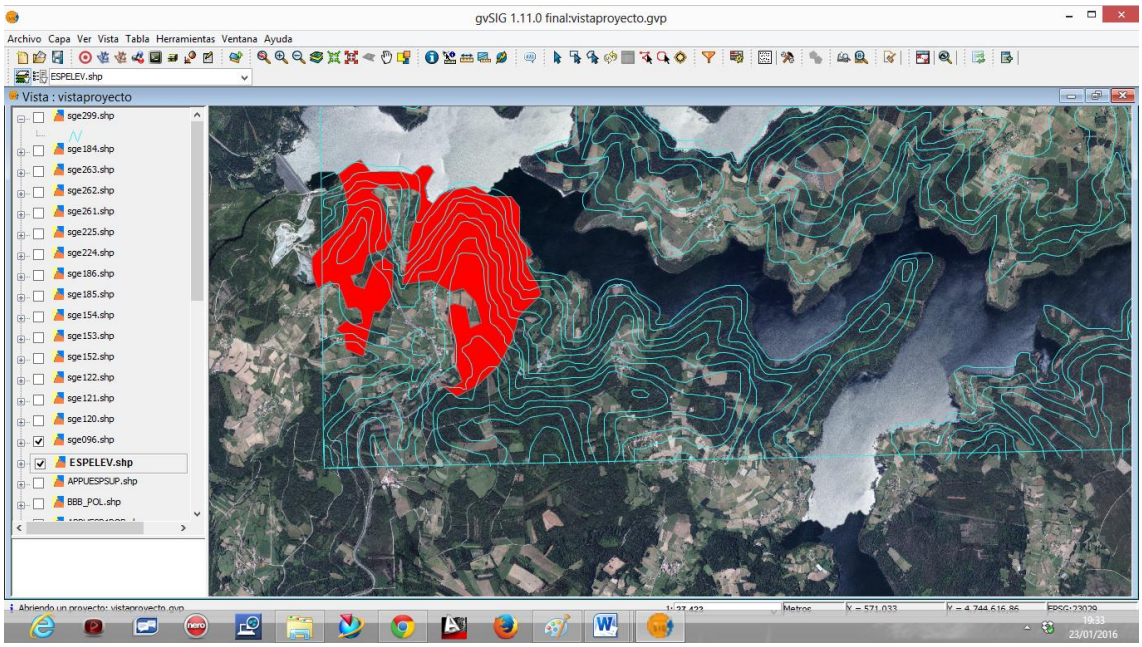


Figura 3-29 Ejemplo de eliminación de una zona con una elevación inferior a 400 m.

En la Figura 3-28 y Figura 3-29, se muestra también una ortofotografía en segundo plano para ayudar a la interpretación de las zonas y su relieve. Para ello, a partir de servidor remoto WMS (Figura 3-30), se cargó la capa del PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

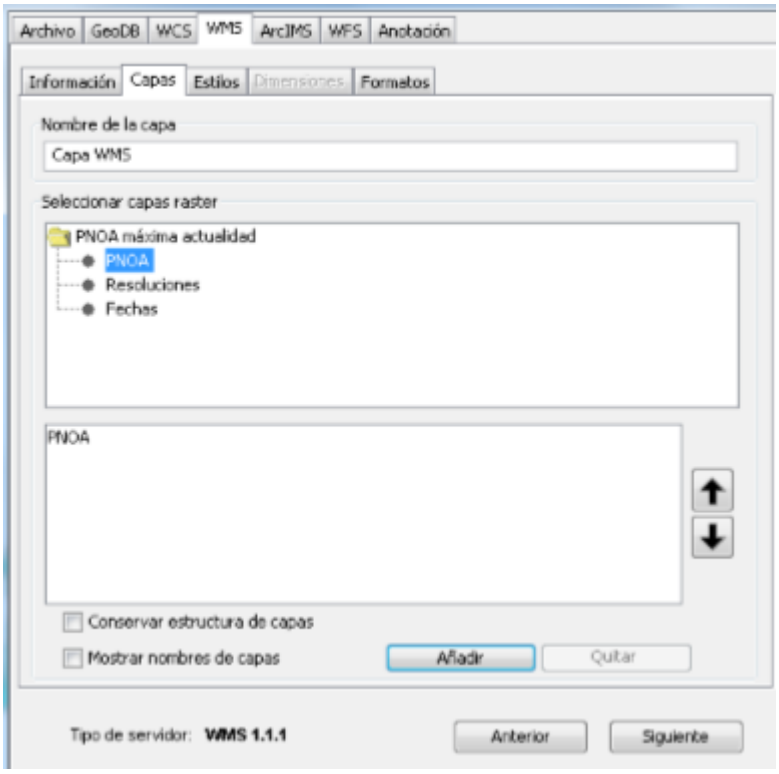


Figura 3-30 Inserción de la capa PNOA a partir de servidor WMS.

La Figura 3-31 presenta las zonas que cumplen las restricciones de elevación y todos los condicionantes presentados anteriormente para una instalación militar.

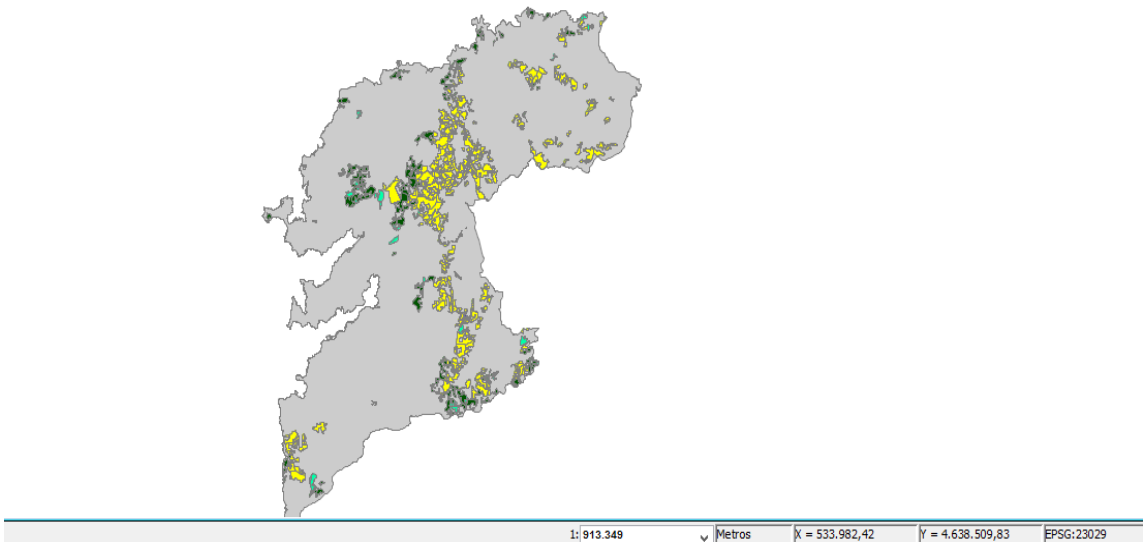
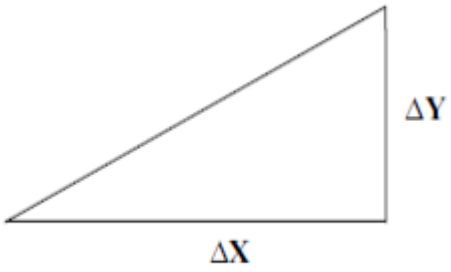


Figura 3-31 En amarillo se indican las zonas que cumplen los requisitos de elevación.

El siguiente hito correspondió a aplicar la discriminación por pendiente. Para cada zona, se buscaron subzonas que cumpliesen los requisitos de desnivel preestablecido (pendiente máxima del 10%). No bastó únicamente con calcular pendientes, sino que hubo que verificar que el punto de posible instalación del PC dentro de la zona cumplía los requisitos mínimos de superficie necesaria.

El cálculo de la pendiente se hizo en base a la siguiente fórmula (Figura 3-32):



$$\text{Pendiente}\ (\%) = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \cdot 100$$

Figura 3-32 Cálculo de la pendiente del terreno [35] .

En la Figura 3-33 se observan aquellas zonas que presentaban una pendiente superior al 10% y aquellas que, aun presentando una subzona de menor pendiente, su superficie no era suficiente para la instalación del PC.

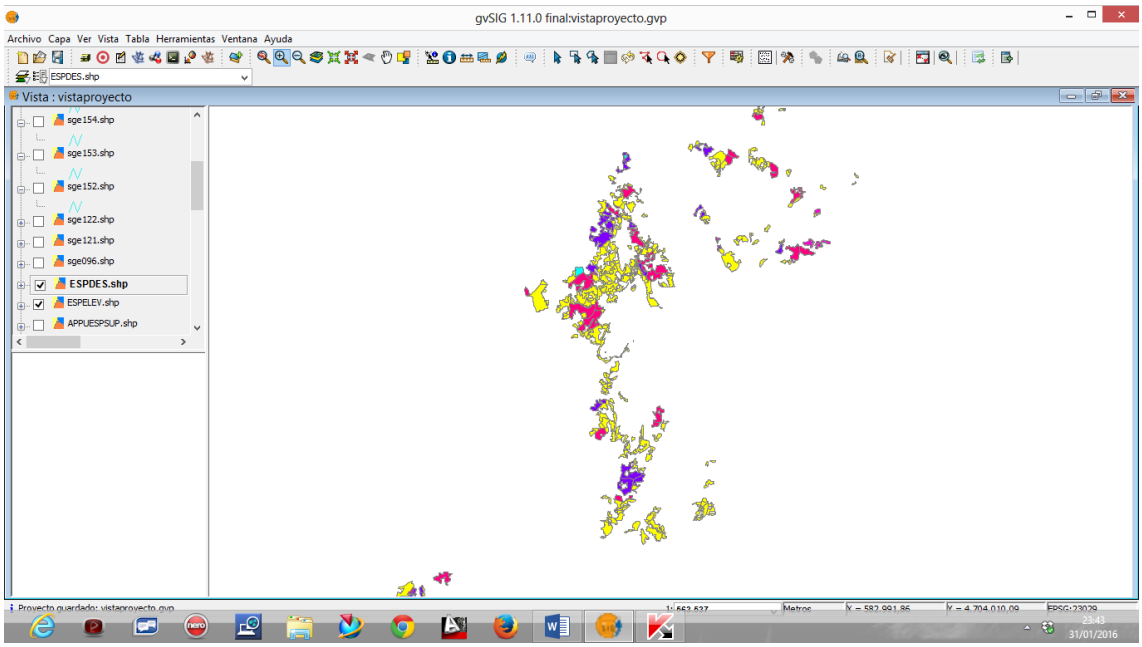


Figura 3-33 Zonas que no cumplen los requisitos de desnivel o pendiente (en amarillo).

El siguiente requisito que se tuvo en cuenta fue la evaluación de la cubierta arbórea en las zonas aptas hasta el momento. Este paso se hizo en base a la inspección visual de las ortofotografías del PNOA. Tal y como se observa en la Figura 3-34, durante la evaluación de cada zona se verificó que se dispusiese de al menos un perímetro viable, correspondiente con el valor de superficie mínima, para la instalación del PC.

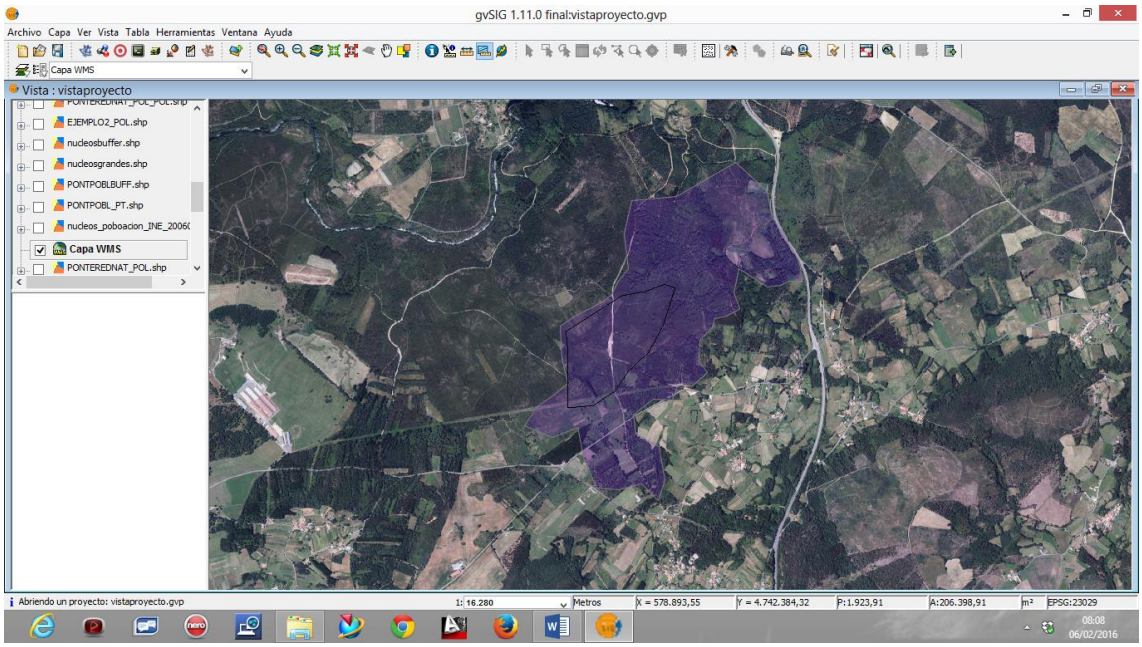


Figura 3-34 Ejemplo de evaluación de la cubierta arbórea.

Se eliminaron aquellas zonas que no presentaban una zona descubierta que garantizase la superficie mínima necesaria para la instalación. La Figura 3-35 presenta las zonas aptas tras aplicar este criterio.

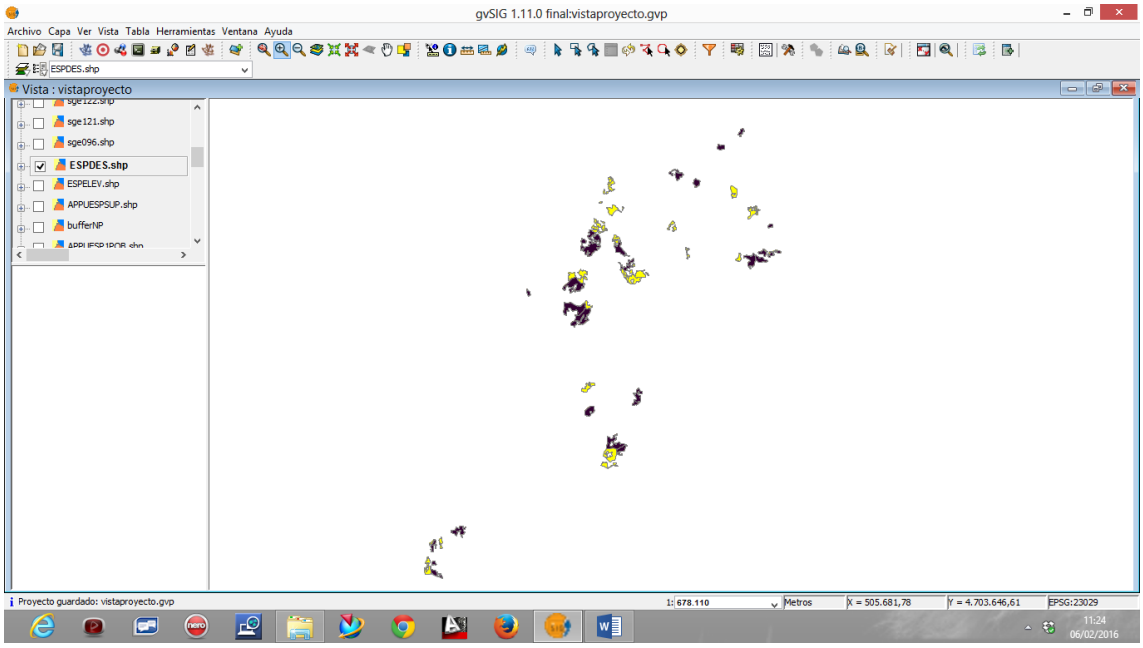


Figura 3-35 Zonas que no cumplen el requisito de cubierta, en amarillo.

Tras la evaluación de la cubierta arbórea, se procedió a evaluar las restricciones de comunicación. Pare ello, y en primera instancia, se introdujeron las capas convenientes: vías rápidas, sendas, carreteras secundarias, redes estatales, carreteras primarias, pistas, enlaces, corredores y caminos.

Tras la inserción de dichas capas, debemos eliminar aquellas zonas que no posean una amplia capacidad para el transporte, teniendo en cuenta no solo el número de sendas o caminos sino también la distancia a los mismos (máxima de 1 km). La Figura 3-36 muestra un ejemplo de evaluación de capacidad de comunicación en una zona apta hasta el momento.

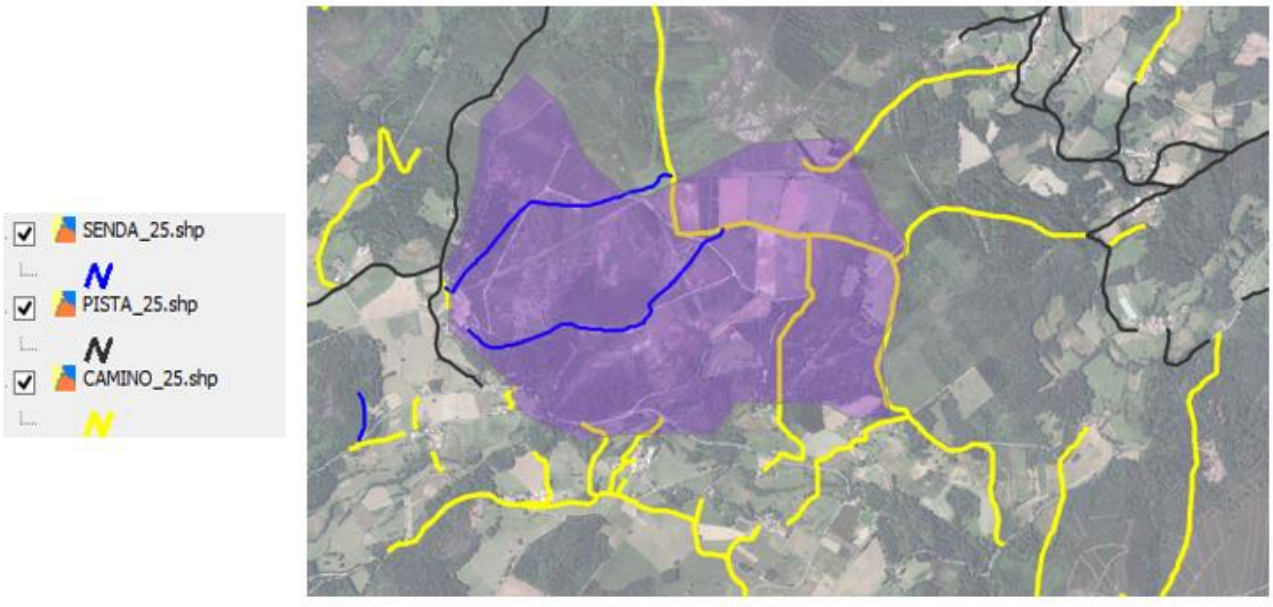


Figura 3-36 Ejemplo de evaluación de capacidades de comunicación.

Para la evaluación de las capacidades de abastecimiento de agua se operó de semejante forma que en el caso de las vías de comunicación. Las capas de hidrografía que se tuvieron en cuentan fueron: ríos simples, ríos dobles, presas, lagos y embalses. Se eliminaron aquellas zonas que, aun cumpliendo todos los requisitos anteriores, no disponían de un elemento hidrográfico a menos de 1 Km de distancia. La Figura 3-37 y Figura 3-38 presentan un ejemplo de medición de distancia entre la posible ubicación del PC y el elemento hidrográfico en cuestión.

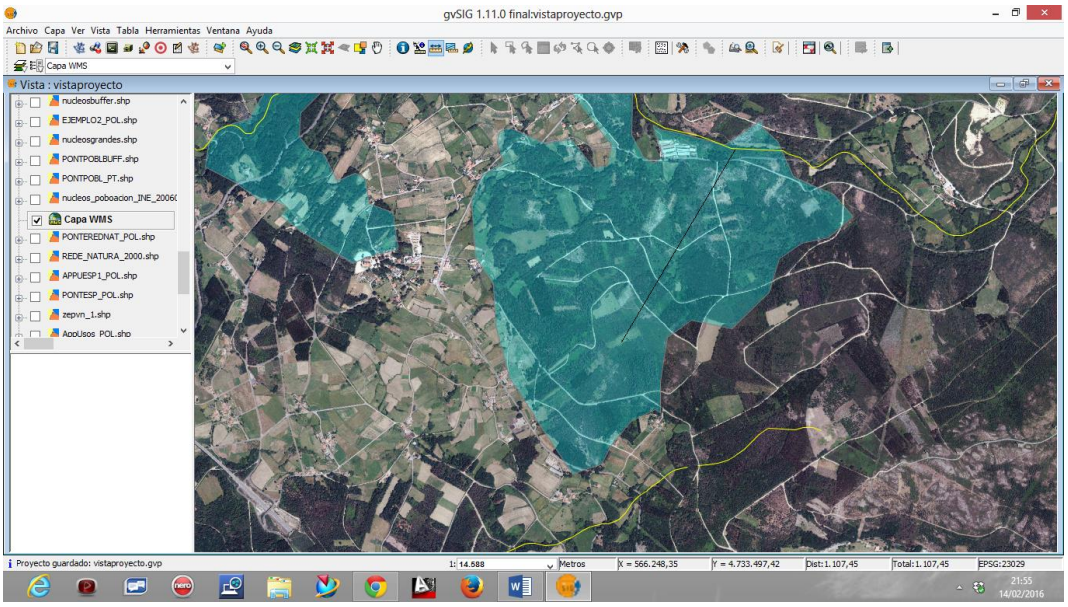


Figura 3-37 Ejemplo de medición de distancia entre la posible localización del PC y el elemento hidrográfico circundante (en amarillo río simple).

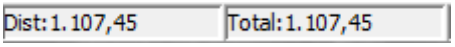


Figura 3-38 Verificación de distancia (en metros) al elemento hidrográfico.

Finalmente, la Figura 3-39 muestra la capa final resultante con las posibles zonas aptas para la instalación del puesto de mando de la BRIMAR.

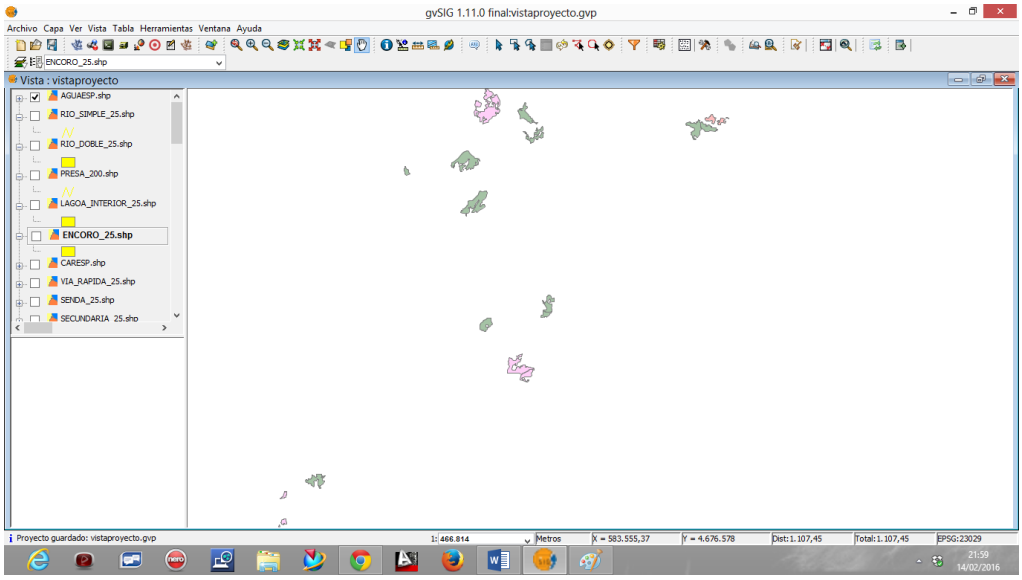


Figura 3-39 Zonas aptas tras la evaluación de proximidad a elementos hidrográficos.

4 RESULTADOS

4.1 Zonas aptas

En este apartado se muestra un cuadro resumen de los principales aspectos que definen cada zona (Tabla 4-1) y se realiza una breve descripción de las características fundamentales de cada una de ellas, junto con las posibles opciones de instalación del PC.

Resulta de interés resaltar que las coordenadas expresadas para cada zona de estudio quedan referidas al punto resultante del cruce de líneas que en cada imagen se representa.

TABLA DE ATRIBUTOS DE LA CAPA FINAL

PERIMETRO	LEYENDA	PROVINCIA	MUNICIPIO	PARROQUIA	SUPm2	Nombre
23187.18348	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	TOMIÑO	PINZÁS (SANTA MARÍA)	3352209	Zona 1
222408.1947	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	FORCAREI	FORCAREI (SAN MARTIÑO)	2452539	Zona 2
57281.10998	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	RODEIRO	ARNEGO (SANTIAGO)	2235218	Zona 3
57281.10998	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	DOZON	DOZÓN (SANTA MARÍA)	3802355	Zona 4
26018.86396	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	FORCAREI	FORCAREI (SAN MARTIÑO)	3414811	Zona 5
49770.61358	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	MORAÑA	REBÓN (SAN PEDRO)	727809.9	Zona 6
135388.4129	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	CAMPO LAMEIRO	MONTES (SAN ISIDRO)	7022196	Zona 7
135388.4129	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	COTOBADE	LOUREIRO (SANTIAGO)	6971418	Zona 8
6528.87985	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	AGOLADA	BRÁNTEGA (SAN LOURENZO)	1370195	Zona 9
6324.40141	Matorral de frondosas	PONTEVEDRA	RODEIRO	ARNEGO (SANTIAGO)	1275015	Zona 10
10044.85248	Matorral de frondosas	PONTEVEDRA	RODEIRO	ARNEGO (SANTIAGO)	767369.7	Zona 11
3819.402	Bosque mixto	PONTEVEDRA	OIA	LOUREZA (SAN MAMEDE)	655676.1	Zona 12
180748.9601	Bosque mixto	PONTEVEDRA	COVELO (O)	COVELO (O) (SANTA MARIÑA)	5555235	Zona 13
180748.9601	Bosque mixto	PONTEVEDRA	COVELO (O)	LAMOSA (SAN BARTOLOMEU)	1986892	Zona 14
9551.182	Bosque mixto	PONTEVEDRA	OIA	VILADESUSO (SAN MIGUEL)	587385.1	Zona 15
32773.40226	Bosque mixto	PONTEVEDRA	OIA	LOUREZA (SAN MAMEDE)	1841707	Zona 16
14937.30627	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	COVELO (O)	CAMPO (SANTA MARÍA)	998271	Zona 17
14937.30627	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	COVELO (O)	GRAÑA (A) (SAN BERNABÉ)	2724262	Zona 18
16295.45609	Matorral de bosque mixto	PONTEVEDRA	MONDARIZ	GARGAMALA (SANTA MARÍA)	2675383	Zona 19
5830.58878	Bosque mixto	PONTEVEDRA	AGOLADA	BERREDO (SANTA MARÍA)	1036496	Zona 20
2451709.642	Bosque mixto	PONTEVEDRA	ESTRADA (A)	CODESEDA (SAN XURXO)	10858714	Zona 21

Tabla 4-1 Cuadro resumen de los principales aspectos que definen cada zona.

ZONA 1

- Localización: situada en el Municipio de Tomiño y en la Parroquia de Pinzás.
- Coordenadas: X: 518.4417,3 m // Y:4.656.777,66 m.
- Superficie: 3.352.209 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima de la zona 1 está establecida en 420 m.
- Pendiente de instalación entre un 2% y un 6%.
- Comunicación: múltiples sendas y caminos atraviesan la zona.
- Hidrografía: ríos poco caudaloso en sus alrededores, a una distancia aproximada de entre 300 y 400 m de las zonas probables de instalación.
- Cobertura: zonas de futura instalación despejadas; zonas boscosas en relativa proximidad.
- Núcleos de población: zona de posible instalación a unos 800 m del núcleo más cercano (Alpuxarra).

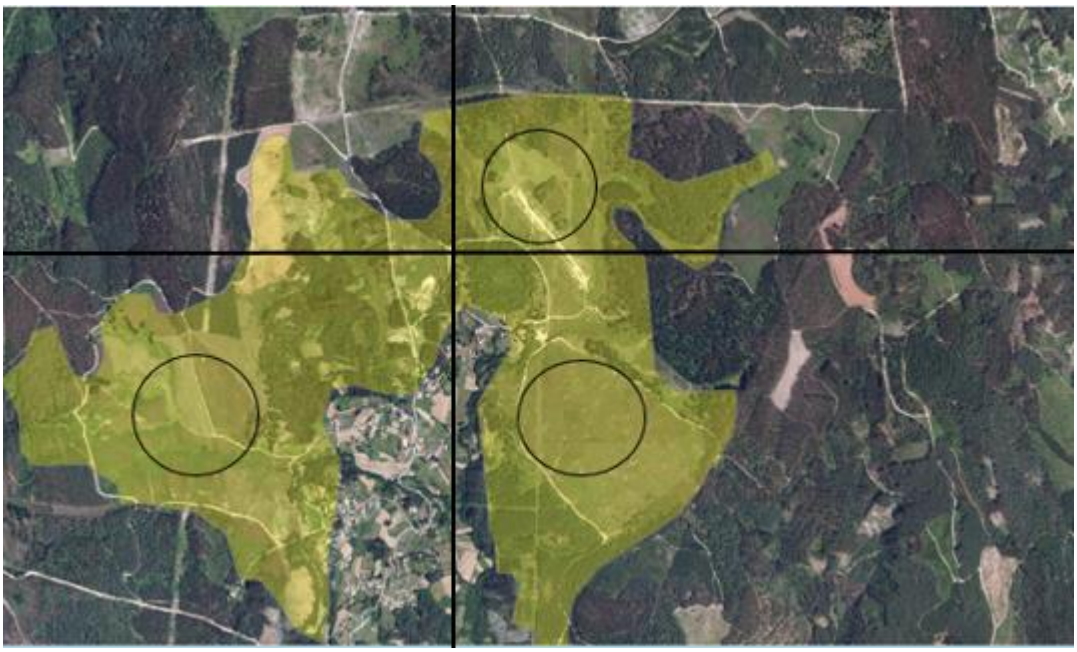


Figura 4-1 Imagen satelital de la zona 1, con opciones de localización del PC.

ZONA 2

- Localización: situada en el municipio de Forcarei, en la parroquia de Forcarei.
- Coordenadas: X: 554.713,79 m // Y: 4.713275,42 m.
- Superficie: 2.452.539 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima de la totalidad de la zona es de 660 m.
- Pendiente de instalación: las zonas de posible instalación están sometidas a una pendiente entre un 5% y un 10%.
- Comunicación: múltiples sendas y caminos atraviesan la totalidad de la zona.
- Hidrografía: ríos de poco caudal a una distancia en torno a los 500 m.
- Cobertura: zonas donde la instalación es posibles de poca cubierta, entorno muy frondoso.
- Núcleos de población: las zonas de posible instalación distan de los núcleos más próximos entre 1000 m y 700 m (Covas y Pontefreixeira, respectivamente).



Figura 4-2 Imagen satelital de la zona 2, con opciones de localización del PC.

ZONA 3

- Localización: situada en el municipio de Rodeiro, en la parroquia deArnego.
- Coordenadas: X: 583.118,62 m // Y: 4.714.591,41 m.
- Superficie: 2.235.218 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la zona tiene una cota máxima de 860 m.
- Pendiente de instalación: pendiente aproximada en zona de instalación de 8%.
- Comunicación: múltiples avenidas, caminos y sendas en la totalidad de la zona.
- Hidrografía: distancia de las zonas de posible instalación al núcleo hidrográfico más próximo es de unos 800 y 900 m.
- Cobertura: zona poco cubierta en su totalidad.
- Núcleos de población: los núcleos de población más próximos a las opciones de instalación distan de 600 m (Toiriz y Padín).



Figura 4-3 Imagen satelital de la zona 3, con opciones de localización del PC.

ZONA 4

- Localización: Situada en el municipio de Dozon, en la parroquia de Dozon.
- Coordenadas: X: 581.512,09 m // Y: 4.714.749,5 m.
- Superficie: 3.802.355 m^2.
- Uso del Suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima de la zona se encuentra a unos 900 m.
- Pendiente de instalación: la pendiente en las zonas de futura instalación ronda el 7%.
- Comunicación: la totalidad de la zona está atravesada por sendas y caminos.
- Hidrográfica: el núcleo hidrográfico más próximo a las zonas de instalación más probable se encuentra 700 m.
- Cobertura: la zona prácticamente en su totalidad se encuentra despejada, con un ligero porcentaje de cubierta en las zonas más elevadas.
- Núcleos de población: los puntos poblados más próximos a las zonas de instalación más probables se encuentra a unos 900 m (Dozón y Embeande).



Figura 4-4 Imagen satelital de la zona 4, con opciones de localización del PC.

ZONA 5

- Localización: situada en el Municipio de Forcarei, en la parroquia de Forcarei.
- Coordenadas: X: 553.201,26 m // Y: 4.716.967,02 m
- Superficie: 3.414.811 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: el punto de máxima cota se encuentra a unos 640 m.
- Pendiente de instalación: las zonas de mayor probabilidad de instalación se encuentran bajo una pendiente aproximada de un 6%.
- Comunicación: la cantidad de caminos que atraviesan la zona no es muy abundante; sin embargo, se encuentra rodeada por múltiples avenidas de aproximación tales como sendas, vías, etc.
- Hidrografía: los núcleos hidrográficos se encuentran a 450 m respecto a las zonas de mayor probabilidad de instalación.
- Cobertura: en su interior, la zona se encuentra poco afectada por bosques, no así el entorno que lo rodea.
- Núcleos de población: los núcleos de población más próximos a las posibles zonasde instalación se encuentran en torno a los 600 m (Salgueiro y Chamosa).



Figura 4-5 Imagen satelital de la zona 5, con opciones de localización del PC.

ZONA 6

- Localización: situado en el municipio de Moraña, en la parroquia de Rebón.
- Coordenadas: X: 533.292,67 m // Y: 4.707.556,43 m
- Superficie: 727.810 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la zona tiene una cota máxima de 580 m.
- Pendiente de instalación: la pendiente por la que se ven afectados aquellos puntos de instalación más probable ronda entre el 8% y 9%.
- Comunicación: no existe multitud de avenidas que atraviesen el camino, el entorno está rodeado por amplios caminos y sendas.
- Hidrografía: los puntos de abastecimiento de agua se encuentran a una distancia entre 100 y 200 m máxima de la zona de instalación.
- Cobertura: la zona goza de cierta cobertura y el entorno de la zona se encuentra fuertemente afectado por bosques frondosos.
- Núcleos de población: el punto poblado más próximo se localiza a 2500 m (Apedrado).

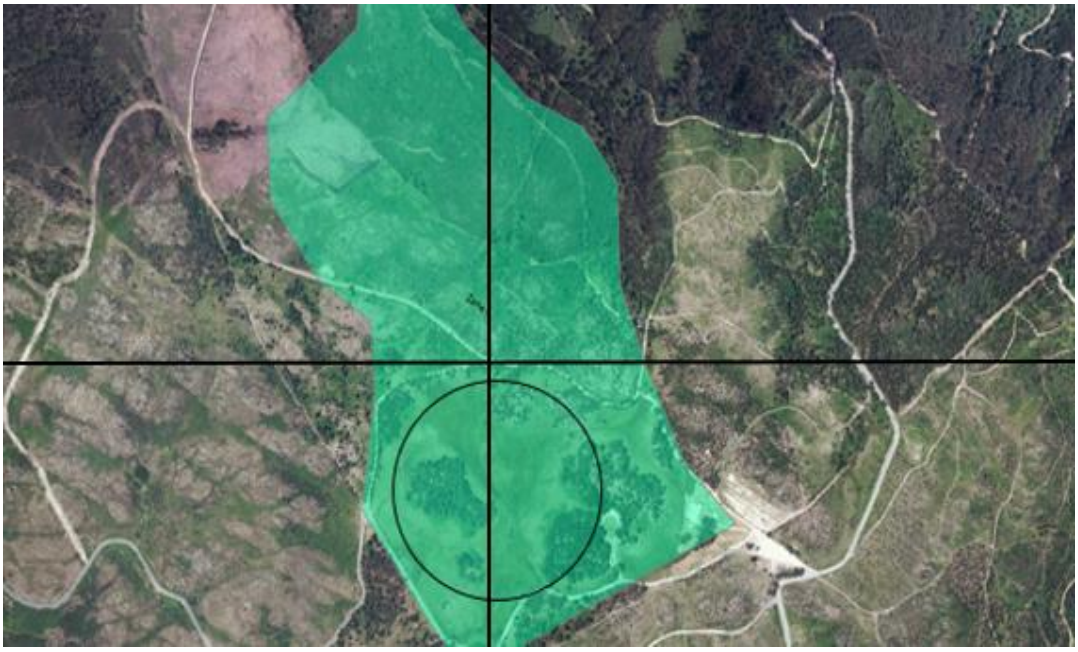


Figura 4-6 Imagen satelital de la zona 6, con opción de localización del PC.

ZONA 7

- Localización: situado en el municipio de Campo Lameiro, en la parroquia de Montes.
- Coordenadas: X: 543.546,94 m // Y: 4.710.086,26 m
- Superficie: 7.022.196 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra en torno a 580 m.
- Pendiente de instalación: la zona de instalación más probable se encuentra sometida a un 7% y 8% de desnivel.
- Comunicación: múltiples caminos atraviesan las zonas de mayor probabilidad de selección.
- Hidrografía: los puntos de abastecimiento de agua se localizan en torno a 400 m.
- Cobertura: los puntos de mayor probabilidad de instalación se encuentran muy despejados, aunque rodeados por densos bosques.
- Núcleos de población: el punto de población más próximo se localiza a 1000 m (Fornelos).

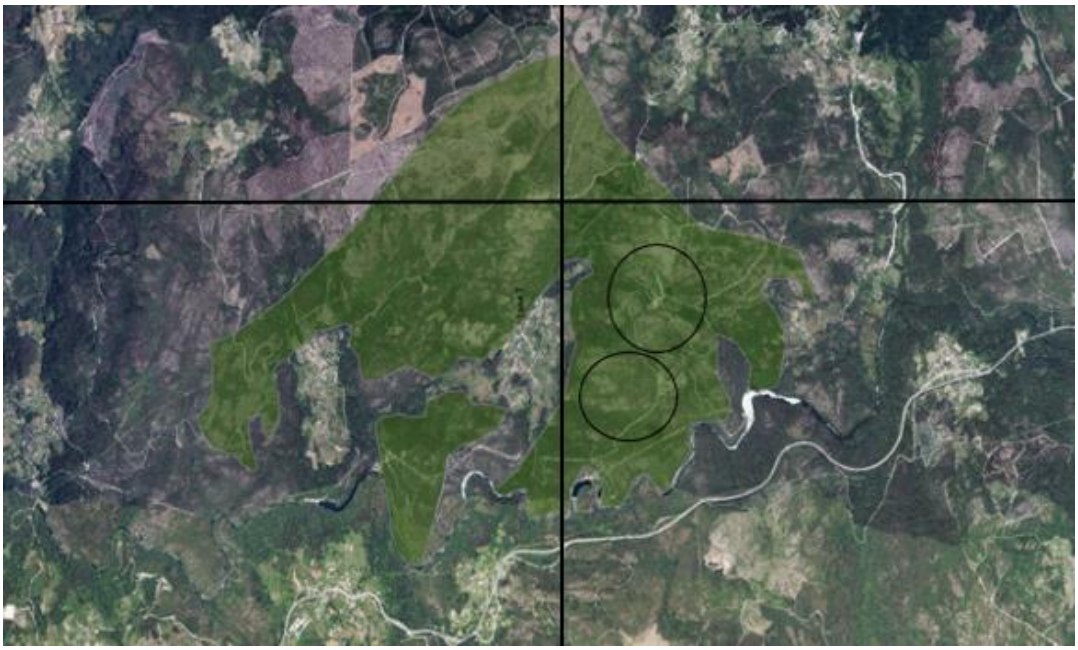


Figura 4-7 Imagen satelital de la zona 7, con opciones de localización del PC.

ZONA 8

- Localización: situado en el municipio de Cotobade, en la parroquia de Loureiro.
- Coordenadas: X: 545.197,79 m // Y: 4.703.080,21 m
- Superficie: 6.971.418 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima de la totalidad de la zona se encuentra a unos 600 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel que afecta a las zonas de mayor probabilidad de uso es de un 9%.
- Comunicación: el entorno a los puntos de instalación contiene múltiples sendas y caminos; sin embargo, el interior de los mismos cuenta con un número muy bajo de accesos.
- Hidrografía: los puntos de abastecimiento de agua se encuentran a unos 500 m de los puntos de instalación más probables.
- Cobertura: la totalidad de la zona cuenta con múltiple cubierta, aunque los puntos considerados más óptimos para la instalación del PC se encuentran muy despejados.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 500 m (Batán).

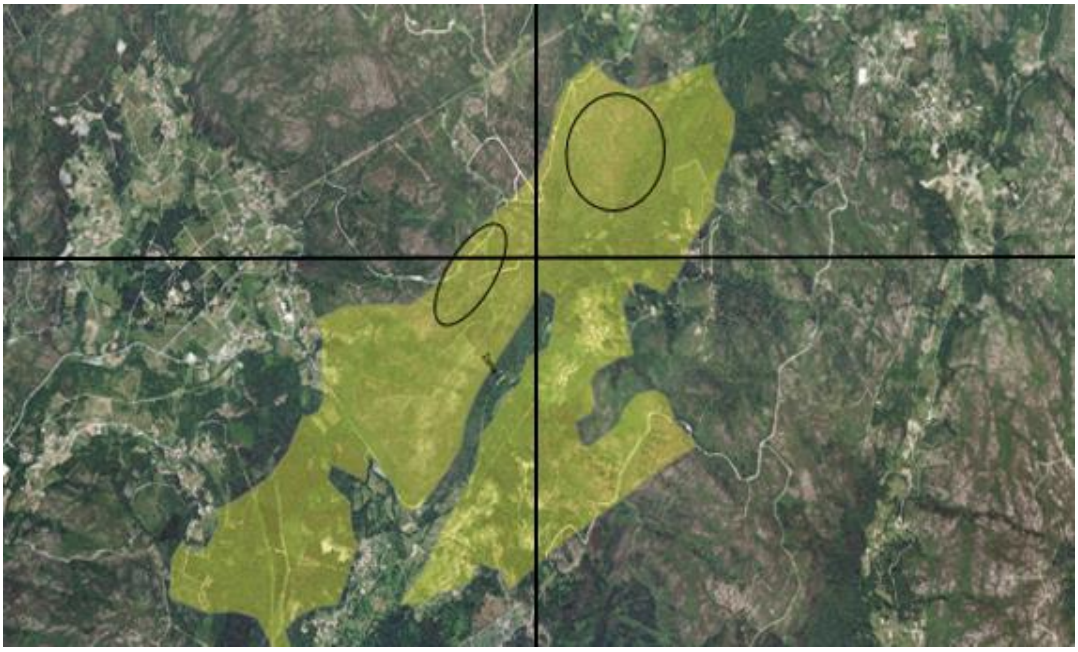


Figura 4-8 Imagen satelital de la zona 8, con opciones de localización del PC.

ZONA 9

- Localización: situada en el municipio de Agolada, en la parroquia de Brántega.
- Coordenadas: X: 575.158,72 m // Y: 4.739.042,58 m
- Superficie: 1.370.195 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: el punto de máxima cota está situado en torno a los 500 m.
- Pendiente de instalación: los desniveles relativos a los puntos de instalación más probables se encuentran a 8%.
- Comunicación: la zona presenta en su totalidad múltiples sendas y caminos.
- Hidrografía: el punto de abastecimiento de agua se encuentra en torno a una distancia de 400 m.
- Cobertura: la zona es bastante mixta en lo que respecta a su cobertura forestal, siendo muy despejados los puntos de más probable instalación.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se localiza a unos 780 m (Torres).

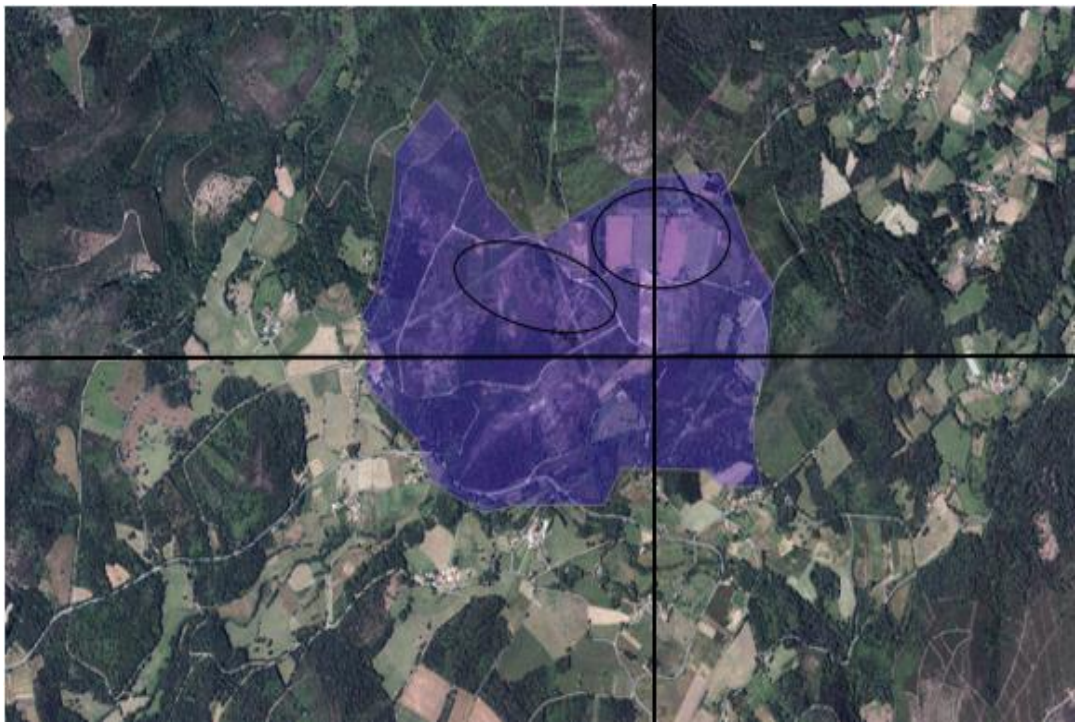


Figura 4-9 Imagen satelital de la zona 9, con opciones de localización del PC.

ZONA 10

- Localización: situado en el municipio de Rodeiro, en la parroquia de Arnego.
- Coordenadas: X: 583.968,63 m // Y: 4.716.683,62 m
- Superficie: 1.275.015 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: el punto de máxima cota se encuentra en torno a 740 m.
- Pendiente de instalación: el porcentaje de desnivel ronda el 4%.
- Comunicación: la totalidad de la zona cuenta con múltiples caminos.
- Hidrografía: los puntos de abastecimiento de agua respecto a los puntos de más probable utilización se encuentran de 150 m a 700 m.
- Cobertura: la zona en su totalidad se encuentra muy despejada.
- Núcleos de población: el núcleo poblado más próximo se sitúa a 720m (Torre De Carboentes).



Figura 4-10 Imagen satelital de la zona 10, con opciones de localización del PC.

ZONA 11

- Localización: situado en el municipio de Rodeiro, en la parroquia de Arnego.
- Coordenadas: X: 585.808,28 m // Y: 4.716.212,89 m
- Superficie: 767.369,7 m^2
- Uso del suelo: matorral de frondosas.
- Elevación máxima: la zona se encuentra a una cota máxima de 760 m.
- Pendiente de instalación: las opciones de instalación presentan un desnivel de aproximadamente 7%.
- Comunicación: múltiples sendas atraviesan la totalidad de la zona.
- Hidrografía: los núcleos de abastecimiento de agua se encuentran entre 200 m y 400 m de las opciones de instalación.
- Cubierta: ligeros tramos boscosos en la zona, las propuestas de instalación no se ven afectadas por ellas.
- Núcleos de población: la población más próxima se encuentra en torno a 1000 m (Pereira).



Figura 4-11 Imagen satelital de la zona 11, con opciones de localización del PC.

ZONA 12

- Localización: situado en el municipio de Oia, en la parroquia de Loureza.
- Coordenadas: X: 512.943,97 m // Y: 4.649.707,83 m.
- Superficie: 655.676,1 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra en torno a 460 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel aproximado es de un 7%
- Comunicación: la zona se encuentra atravesada por amplios caminos y sendas.
- Hidrografía: el núcleo de abastecimiento de agua se encuentra a una distancia aproximada de 130 m.
- Cobertura: la zona apenas se ve afectada por cobertura boscosa.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 1500 m (Mabia).

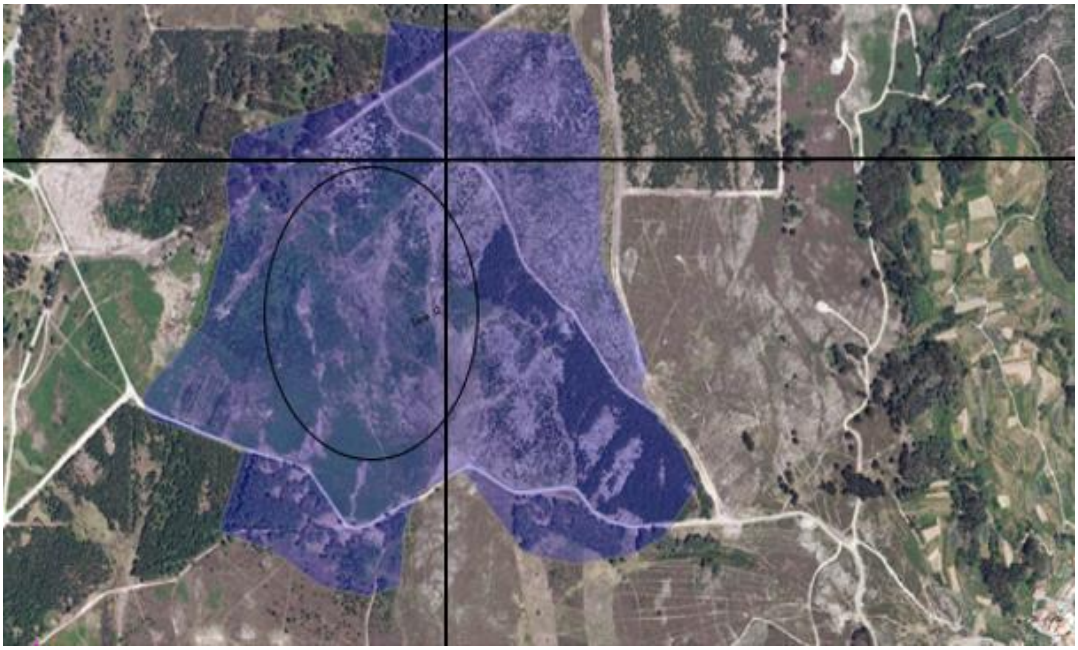


Figura 4-12 Imagen satelital de la zona 12, con opción de localización del PC.

ZONA 13

- Localización: situado en el municipio de Covelo, en la parroquia de Covelo.
- Coordenadas: X: 553.524,19 m // Y: 4.674.659 m
- Superficie: 555.5235 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra en torno a los 580 m.
- Pendiente de elevación. el desnivel ronda el 10 %.
- Comunicación: las zonas más probables de instalación no se encuentran apenas atravesadas por sendas; sin embargo, en su entorno pueden apreciarse múltiples caminos.
- Hidrografía: toda la zona se encuentra afectada por numerosos núcleos de agua, y las distancias respecto a las zonas probables de instalación varían entre los 400 m y los 500 m.
- Cobertura: la zona está muy afectada por cobertura boscosa, localizándose los puntos más despejados en aquellos seleccionados como instalaciones probables.
- Núcleos de población: los núcleos más próximos se encuentran a unos 400 m (Cima De Vila y Cobelino).

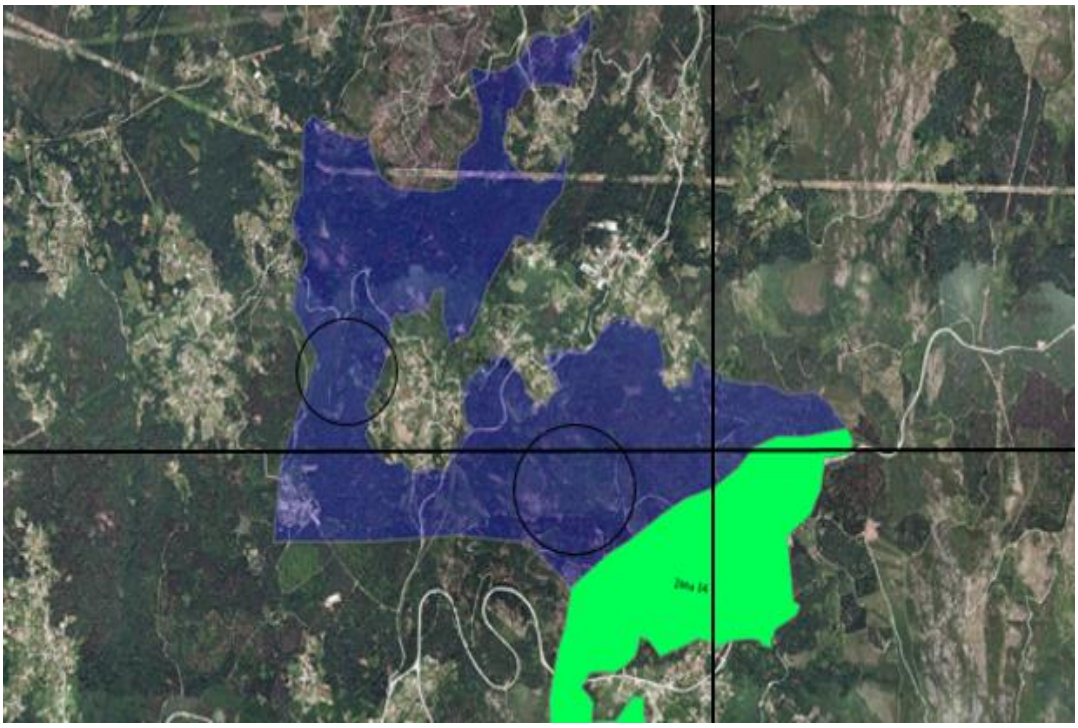


Figura 4-13 Imagen satelital de la zona 13, con opciones de localización del PC.

ZONA 14

- Localización: situada en el municipio de Covelo, en la Parroquia de Lamosa.
- Coordenadas: X: 553.827,24 m // Y: 4.674.022,15 m
- Superficie: 1.986.892 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra en torno a 640 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel aproximado es de un 6%.
- Comunicación: la totalidad de la zona se encuentra afectada por múltiples sendas y caminos.
- Hidrografía: los núcleos de abastecimiento de agua se encuentran a una distancia aproximada de 400m.
- Cobertura: la zona en su totalidad presenta densos bosques, no así los puntos seleccionados como posicionamientos probables del PC.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a unos 800 m (Congostra).

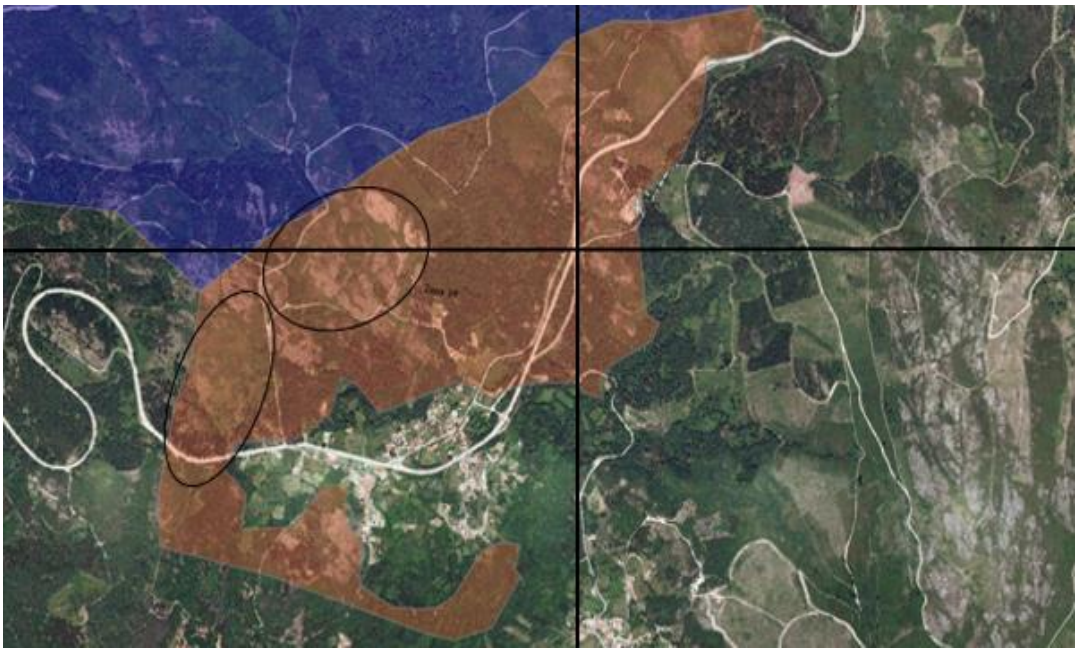


Figura 4-14 Imagen satelital de la zona 14, con opciones de localización del PC.

ZONA 15

- Localización: situado en el municipio de Oia, en la parroquia de Viladesuso.
- Coordenadas: X: 512.665,07 m // Y: 4.653.682,63 m
- Superficie: 587.385,1 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra en torno a 520 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel que afecta al punto probable de instalación es de un 10%.
- Comunicación: multitud de sendas y caminos en la zona.
- Hidrografía: el núcleo hidrográfico más próximo se encuentra en torno a 800 m.
- Cobertura: la zona está muy afectada por denso bosque.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 1500 m (Torroña).



Figura 4-15 Imagen satelital de la zona 15, con opción de localización del PC.

ZONA 16

- Localización: situado en el municipio de Oia, en la parroquia de Loureza.
- Coordenadas: X: 512.884,17 m // Y: 4.647.087,21 m.
- Superficie: 1.841.707 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se encuentra a 420 m.
- Pendiente de instalación: la zona de probable instalación se encuentra afectada por un desnivel del 7%.
- Comunicación: la zona se encuentra atravesada por amplias avenidas de aproximación, sendas y caminos.
- Hidrografía: el núcleo hidrográfico se encuentra a escasos metros del punto de instalación
- Cobertura: la zona apenas se ve afectada por fuerte densidad de bosques, lo que la convierte en una zona bastante despejada.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 1800 m (Acevedo).

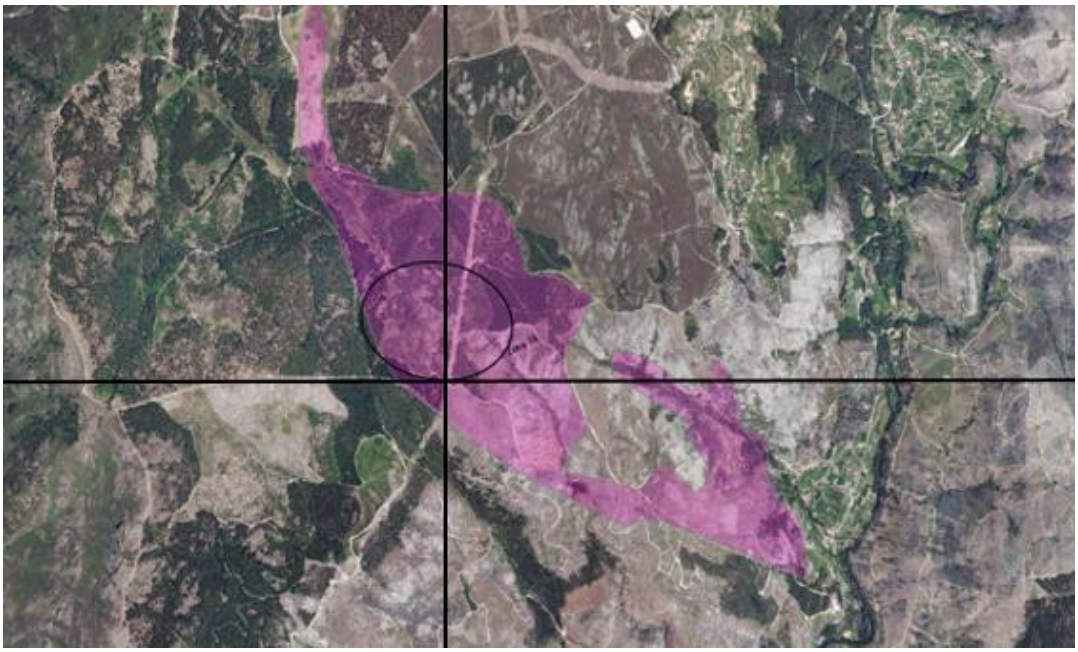


Figura 4-16 Imagen satelital de la zona 16, con opción de localización del PC.

ZONA 17

- Localización: situado en el municipio de Covelo, en la parroquia de Campo.
- Coordenadas: X: 556.169,17 m // Y: 4.683.758,48 m
- Superficie: 998.217 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima es aproximadamente de 740 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel que afecta al punto de probable instalación es de un 8%.
- Comunicación: múltiples sendas y caminos en la totalidad de la zona.
- Hidrografía: el núcleo de abastecimiento más próximo se encuentra a unos 300 m.
- Cobertura: la zona se encuentra dividida en tramos cubiertos y descubiertos.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 400 m (Bustelo).

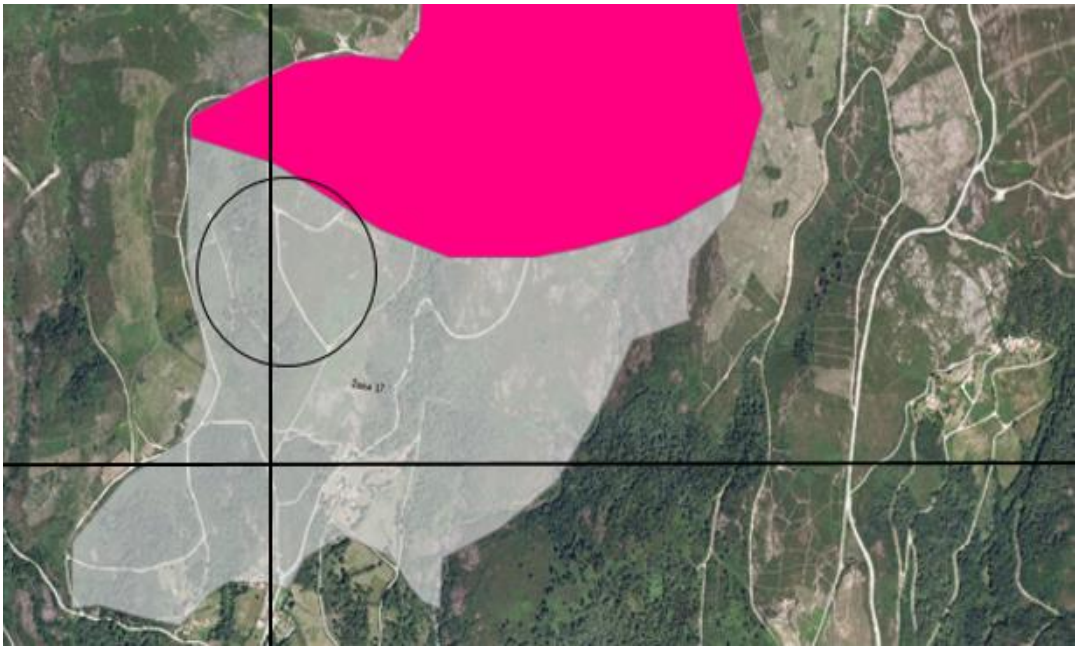


Figura 4-17 Imagen satelital de la zona 17, con opción de localización del PC.

ZONA 18

- Localización: situado en el municipio de Covelo, en la parroquia de Graña.
- Coordenadas: X: 556.851,51 m // Y: 4.686.272,05 m
- Superficie: 2.724.262 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: cota máxima aproximada de 840 m.
- Pendiente de instalación: las zonas de probable instalación se ven afectadas por un desnivel de un 8%.
- Comunicación: multitud de avenidas, sendas y caminos en la totalidad de la zona.
- Hidrografía: los núcleos de abastecimiento de agua se encuentran a una distancia aproximada de 300 m.
- Cobertura: la zona en su totalidad se ve poco afectada por grandes densidades de bosque.
- Núcleos de población: los núcleos de población más próximos se encuentran en torno a 400 m y 700 m (Rebordechan y Salcedo).

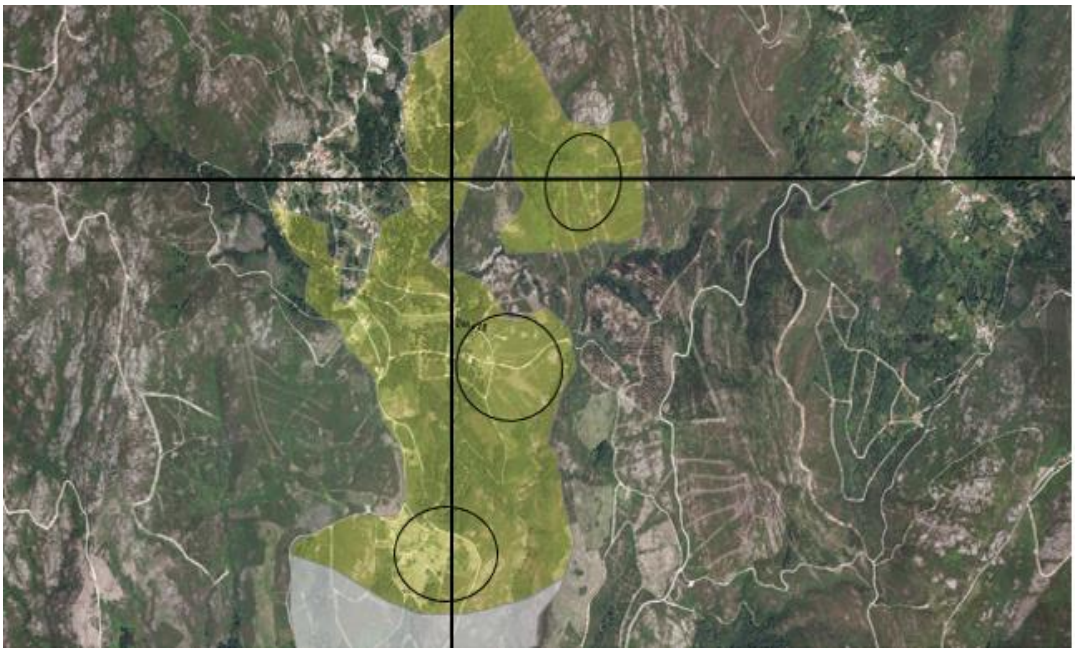


Figura 4-18 Imagen satelital de la zona 18, con opciones de localización del PC.

ZONA 19

- Localización: situado en el municipio de Mondariz, en la parroquia de Gargamala.
- Coordenadas: X: 547.061,35 m // Y: 4.682.492,68 m.
- Superficie: 2.675.383 m^2.
- Uso del suelo: matorral de bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima es aproximadamente de 880 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel que afecta a las zonas de posible instalación es de un 9%.
- Comunicación: múltiples sendas atraviesan la totalidad de la zona.
- Hidrografía: los núcleos de abastecimiento de agua se encuentran en torno a 300 m.
- Cobertura: la zona se encuentra prácticamente despejada en su totalidad.
- Núcleos de población: el núcleo de población más próximo se encuentra a 2500 m (San Amaro).

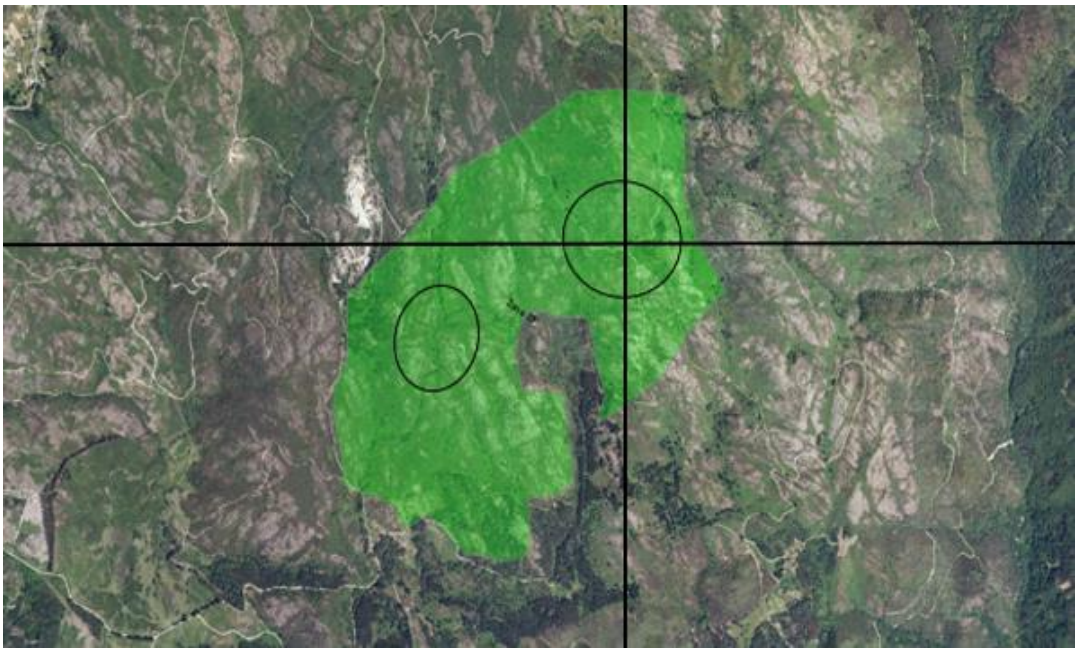


Figura 4-19 Imagen satelital de la zona 19, con opciones de localización del PC.

ZONA 20

- Localización: situada en el municipio de Agolada, en la parroquia de Berredo.
- Coordenadas: X: 578.962,46 m // Y: 4.742.134,91 m.
- Superficie: 1.036.496 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima oscila en torno a 420 m.
- Pendiente de instalación: el desnivel que afecta a los puntos de probable instalación es de un 8%.
- Comunicación: múltiples caminos, sendas y corredores atraviesan la totalidad de la zona.
- Hidrografía: el núcleo de agua más próximo se encuentra entre los 200 m y 700 m.
- Cobertura: la zona presenta densos bosques, aunque las zonas de probable instalación se encuentran despejadas.
- Núcleos de población: los núcleos de población más próximos se encuentran a una distancia de 800 m (Casiñas y Quinta).



Figura 4-20 Imagen satelital de la zona 20, con opciones de localización del PC.

ZONA 21

- Localización: situada en el municipio de Estrada, en la parroquia de Codeseda.
- Coordenadas: X: 547.278,33 m // Y: 4.718.236,69 m
- Superficie: 10.858.714 m^2.
- Uso del suelo: bosque mixto.
- Elevación máxima: la cota máxima se sitúa en torno a 600 m.
- Pendiente de instalación: las zonas de probable instalación se ven afectadas por un desnivel del 7%.
- Comunicación: múltiples sendas y caminos en la totalidad de la zona.
- Hidrografía: la distancia a núcleos hidrográficos oscila en torno a 800 m.
- Cobertura: la zona se encuentra muy afectada por bosques densos, presentándose en menor medida para aquellas zonas seleccionadas como probables.
- Núcleo de población: los núcleos de población más próximos se encuentran en torno a 500 m y 1000 m (Grela, Portela y Codeseda).

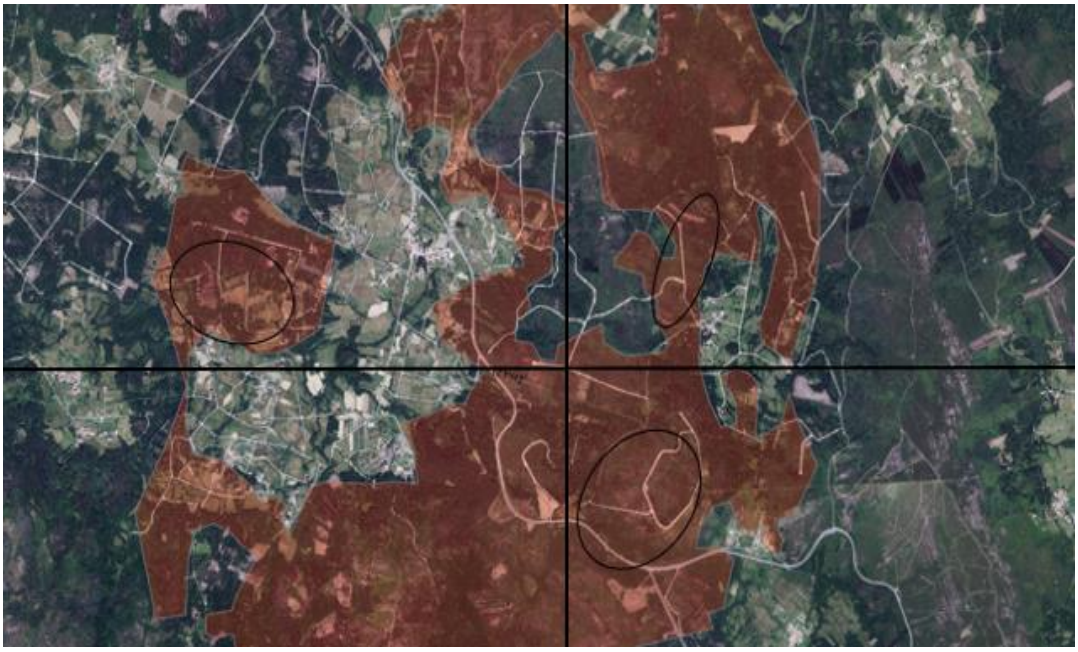


Figura 4-21 Imagen satelital de la zona 21, con opciones de localización del PC.

MATERIAL CLASIFICADO

4.3 Información catastral

Otro aspecto de interés a tener en cuenta es la información catastral o división parcelaria de las zonas de posible instalación del PC. En caso de tener que planificar una expropiación, resulta fundamental conocer las características que definen las parcelas afectadas y en base a ello tomar una decisión sobre qué zona sería la menos perjudicial desde un punto de vista económico o de productividad de las parcelas.

La división parcelaria de nuestras zonas puede obtenerse a partir una capa (servidor remoto) WMS de catastro, directamente accesible desde la herramienta gvSIG. Superponiendo dicha capa a la ortofotografía (PNOA) de la zona (Figura 4-24), podemos consultar dichas parcelas, junto con su código identificativo o referencia catastral (Figura 4-25). Por medio de dicha referencia catastral, se tiene acceso directo a la ficha catastral de la parcela de la Dirección General de Catastro (Figura 4-26), donde se puede obtener información sobre la localización de la parcela, superficie en m^2, la clase de suelo que define la parcela (rustico, agrario, etc.), tipo de productividad del terreno, tipo de edificación en caso de que exista alguna (año de construcción y tipo de división), coeficiente de participación en caso de que haya más de un propietario, y planos de configuración del espacio terreno.

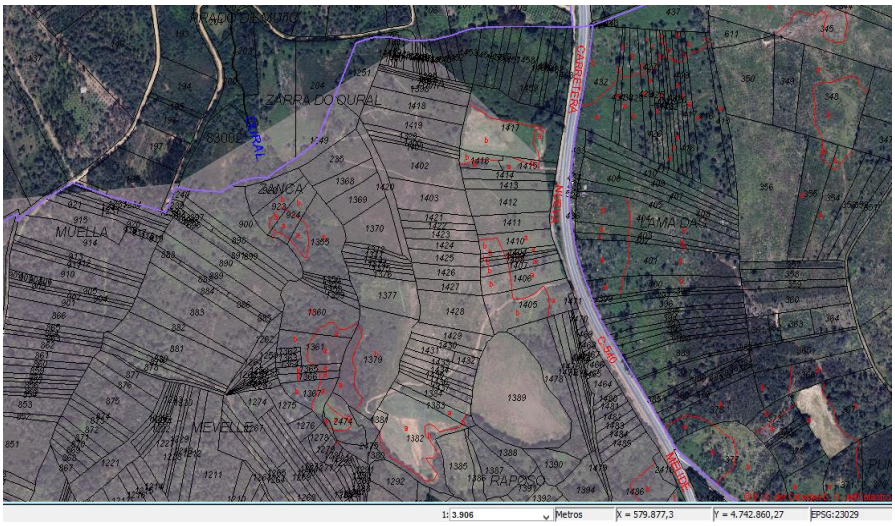


Figura 4-24 Visualización división parcelaria de la zona 20.

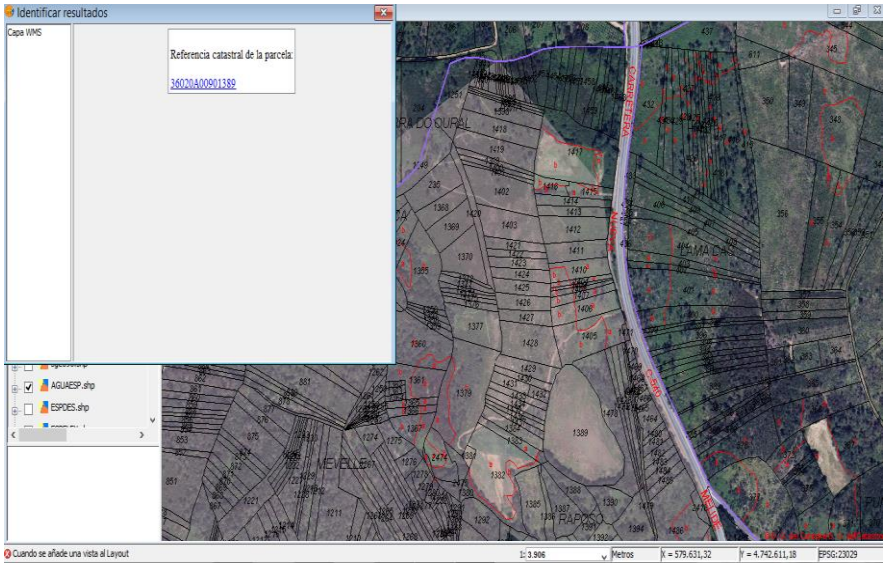


Figura 4-25 Obtención de referencia catastral.

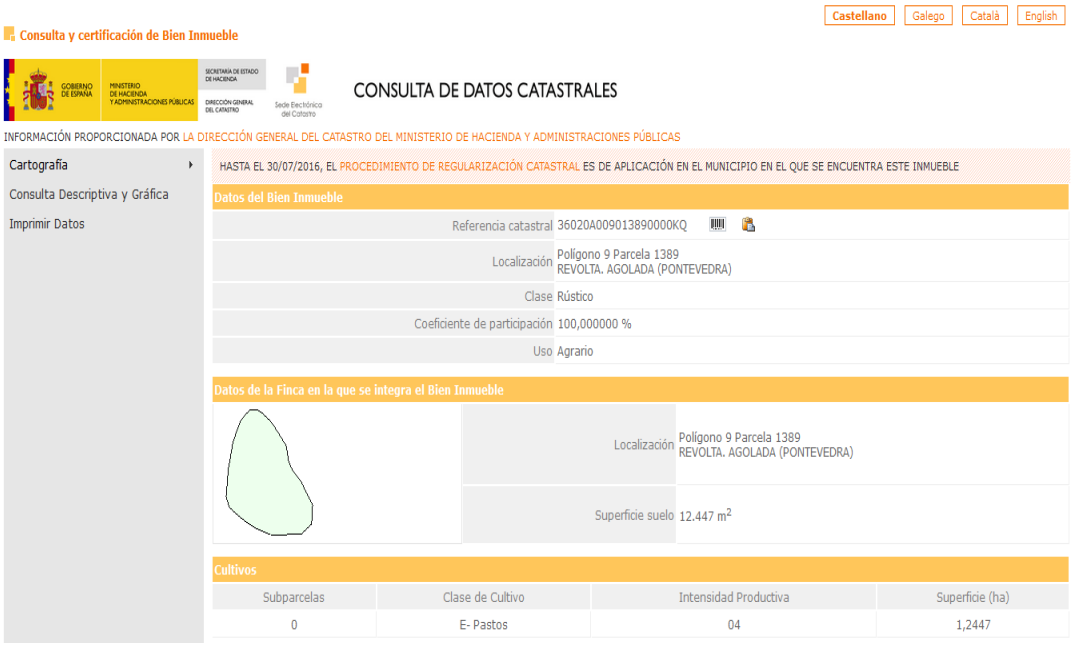


Figura 4-26 Ejemplo de ficha catastral [36].

4.4 Mapas temáticos

En el desarrollo del ANEXO I se incluye el resultado de este trabajo en forma de mapas temáticos. De cara a una visualización más completa de las zonas aptas, en el mencionado anexo encontramos:

- 3 mapas dirigidos a la visualización de las 21 zonas posibles de instalación.
- 1 mapa de la zona tomada como ejemplo, centrando el detalle en vías de comunicación, así como en núcleos de abastecimiento hidrográfico.
- 1 mapa de la zona ejemplo, donde se representa un croquis con los principales elementos que conforman el PC de la BRIMAR.

En todos ellos se incluye una referencia a su situación en la provincia de Pontevedra, así como información en relación con elementos cartográficos tales como: huso, sistema de coordenadas, escala, etc.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Durante el transcurso de los apartados 3 y 4 del trabajo, se ha dejado patente la gran cantidad de herramientas de análisis que los SIG permiten. Partiendo de meras indicaciones dictadas por la doctrina de Infantería de Marina, y definiendo una serie de criterios o requerimientos del terreno con cierto nivel de restricción, se ha podido materializar un resultado asegurando el cumplimiento de los aspectos identificados como esenciales para la instalación del PC de la BRIMAR.

La aplicación de los SIG a este aspecto concreto de las operaciones militares permitirá no solo un ahorro de tiempo, ya que el análisis exclusivamente 'in situ' resultaría muy lento y no siempre posible, sino una precisión que solo la cartografía digital junto con los software adecuados permiten. Es evidente que el uso de cartografía convencional proporciona una gran información, pero la cantidad de datos a almacenar en mapas temáticos a través de los SIG es prácticamente inagotable. Cierto es que, los criterios preestablecidos para la consecución del trabajo no siempre resultaron inmediatos, como es el caso de la evaluación de pendientes y alturas. Sin embargo, la amplia gama de herramientas de tratamiento cartográfico que posibilitan los SIG hace que incluso esta tarea resulte relativamente simple.

Volviendo de nuevo a los resultados del trabajo, se ha llegado a un resultado final de localización de zonas aptas para la instalación del PC de la BRIMAR satisfactorio. Se ha conseguido definir 21 zonas posibles distribuidas por toda la provincia de Pontevedra que cumplen: una superficie mínima de 126.000 m^2, uso de suelo acorde a los elementos que componen el PC, elevaciones superiores a 400 m, pendiente máxima del 10%, distancia mínima de 5 km a núcleos de población con más de 500 habitantes, distancia máxima de 1 km a algún elemento hidrográficos, así como escasez de cubierta arbórea en los puntos de posible instalación. Para cada una de esas 21 zonas se ha propuesto, de cara a agilizar el despliegue de la instalación, una serie de opciones concretas de situación de los elementos del PC.

Aunque el objetivo se ha cumplido, durante el desarrollo de este trabajo se ha encontrado una dificultad que merece ser mencionada. Debido a que la zona a ocupar por el PC es relativamente pequeña, las posibilidades de situación obtenidas por el software en los primeros momentos del trabajo eran inmensas, llegando a 300. Es por ello que análisis posteriores tales como la discriminación por distancia a núcleos de población y límites de pendientes, resultaron muy tediosos y demandaron gran cantidad de tiempo en el procesado.

A mayores, se ha mostrado la posibilidad de analizar la información catastral para cada una de las parcelas afectadas. Esta información proporciona un input a tener en cuenta en caso de múltiples

opciones de instalación válidas, puesto que, como se ha dejado patente en el apartado 4.3, no todos los suelos son iguales y no todos ellos presentan el mismo 'valor'. En caso de tener que llevar a cabo una expropiación de terrenos, esta fase sería de gran importancia dado que proporciona una clasificación de las zonas desde un punto de vista económico.

He de concluir este apartado recalcando que, aunque los SIG conforman una herramienta esencial en el ámbito de estudio de este trabajo, no pueden ser la única a tener en cuenta. La elección final de la zona de instalación debe pasar por un reconocimiento físico "in situ" del terreno, asegurando aspectos como usos del suelo, vías de comunicación existentes, estado de la vegetación y cubierta arbórea, etc. No son herramientas que entren en confrontación, sino todo lo contrario; la aplicación de ambas de forma secuencial y coordinada ofrece la solución idónea a cada situación que se presente.

5.2 Líneas futuras

Algunas opciones de líneas futuras que surgen tomando como base este trabajo son:

1. Base de datos. La primera y más evidente aplicación sucesiva de este trabajo es la expansión a otras provincias, o incluso la incorporación de nuevos atributos al análisis. Se podría definir una gran base de datos que comprenda zonas de posible instalación a múltiples comunidades del territorio nacional o incluso países.
2. Software de gestión del PC. El software gvSIG emplea librerías de acceso gratuito para el tratamiento de cartografía digital (en lenguaje java) en base a programas de desarrollo software tales como ECLIPSE o KDEVELOP. Como desarrollo futuro, sería posible definir un programa dedicado exclusivamente a la obtención de un conjunto de posibles localizaciones de un PC para una entidad militar definida (batallón, regimiento, etc.). A través de un interface de usuario, dar la posibilidad de establecer la entidad de la unidad amén de los aspectos que deseamos que definan la localización del PC y que, junto con la cartografía base adecuada, permitirá la obtención de todas las posibles zonas de instalación. Esta herramienta haría que el trabajo realizado en este trabajo quedase transparente al usuario.
3. Otros aspectos. Se podría aplicar la metodología seguida en este trabajo al análisis de aquellas rutas más adecuadas (rutas óptimas) para el apoyo logístico. Asimismo, atendiendo a aspectos tácticos, sería posible obtener una cartografía de coberturas (zonas vistas y ocultas) que faciliten a futuros observatorios su localización, sin olvidarnos de las zonas más adecuadas para el establecimiento de una unidad en situación de defensiva.

En términos generales, y para concluir, parece que las posibilidades subsiguientes a este trabajo no terminan. No podemos olvidar que toda operación militar llevada a cabo en tierra resulta más ventajosa cuanta más información se pueda recopilar de la zona en la que se opera, y es en este punto donde los SIG no solo dejarán, sino que ya han dejado, una profunda huella.

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] D-RIM-311. La Brigada de Infantería de Marina (BRIMAR).

[2] SOP. puesto de mando de la Brigada de Infanteria de Marina.

[3] «Wikipedia,» [En línea]. Available: es.wikipedia.org.

[4] J. K. Wright, Elements of Cartography, 1953.

[5] «Britannica.com,» [En línea]. Available: www.britannica.com/biography/Waldo-Tobler.

[6] R. Tomlinson y M. Toomey, Mapping a Norththen land. The survey of Canada, 1947-1994., 1999.

[7] ESRI, «esri.com,» [En línea]. Available: http://www.esri.com/esri-news/arcnews/summer13articles/beginnings-of-geodesign-a-personal-historical-perspective.

[8] V. Olaya, Sistemas de Información Geográfica, 2011.

[9] N. Chrisman, Charting the Uknown. How computer mapping at Harvard became GIS, 2004.

[10] J. M. Santos Preciado y D. Cocero Matesanz, Los SIG raster: herramienta de análisis medioambiental y territorial, 2013.

[11] K. Elangovan, GIS: Fundamentals, Applications and Implementations, 2006.

[12] A. Kent, Encyclopedia of Library and Information Science: Volume 63 - Supplement 26, 1998.

[13] B. Warf, Encyclopedia of Geography, 2010.

[14] C. D. Tomlin, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, 1990.

[15] I. McHarg, Design with Nature, 1969.

[16] I. Evans, Spatial Analysis in Geomorphology, 1972.

[17] A. L, What is special about spatial data? Alternative perspectives on spatial data analysis, 1992.

[18] Google, «Google imágenes,» [En línea]. Available: https://www.google.es.

[19] Fundación BBVA, «web Fundación BBVA,» [En línea]. Available: http://www.fbbva.es/TLFU/dat/DE_2007_estudio_geografico_mortalidad.pdf.

[20] F. Escobar, «TIG y autómatas celulares para el modelado de usos del suelo,» [En línea]. Available: http://www.geogra.uah.es/duspanac/documents/Automatas_y_TIG_usos%20suelo1.pdf.

[21] IGN, «Instituto Geográfico Nacional,» [En línea]. Available: http://www.ign.es/.

[22] IGN, «SignA,» [En línea]. Available: http://signa.ign.es/signa/.

[23] IGN, «siane,» [En línea]. Available: http://www2.ign.es/siane/Principal.do.

[24] Consorcio de Santiago, «SIP de Santiago de Compostela,» [En línea]. Available: http://sip.consorciodesantiago.org/SIPWeb/.

[25] «Adquisicion equipamiento hardware para sistema de mando y control TALOS,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/.

[26] GMV Innovating Solutions, «gmv.com,» [En línea]. Available: http://www.gmv.com/.

[27] INDRA, «indracompany,» [En línea]. Available: http://www.indracompany.com/.

[28] Armada Española, «Web Armada Española,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/.

[29] Instituto Nacional de Estadística, «web del Instituto Nacional de Estadística,» [En línea]. Available: http://www.ine.es/.

[30] European Environment Agency, «web european environment agency,» [En línea]. Available: http://www.eea.europa.eu/.

[31] Infraestructuras de Datos Espaciales de España, «web de Infraestructuras de Datos Espaciales de España,» [En línea]. Available: http://idee.es/.

[32] Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, [En línea]. Available: http://www.magrama.gob.es/es/.

[33] GvSIG association, «web GvSIG,» [En línea]. Available: http://www.gvsig.com/.

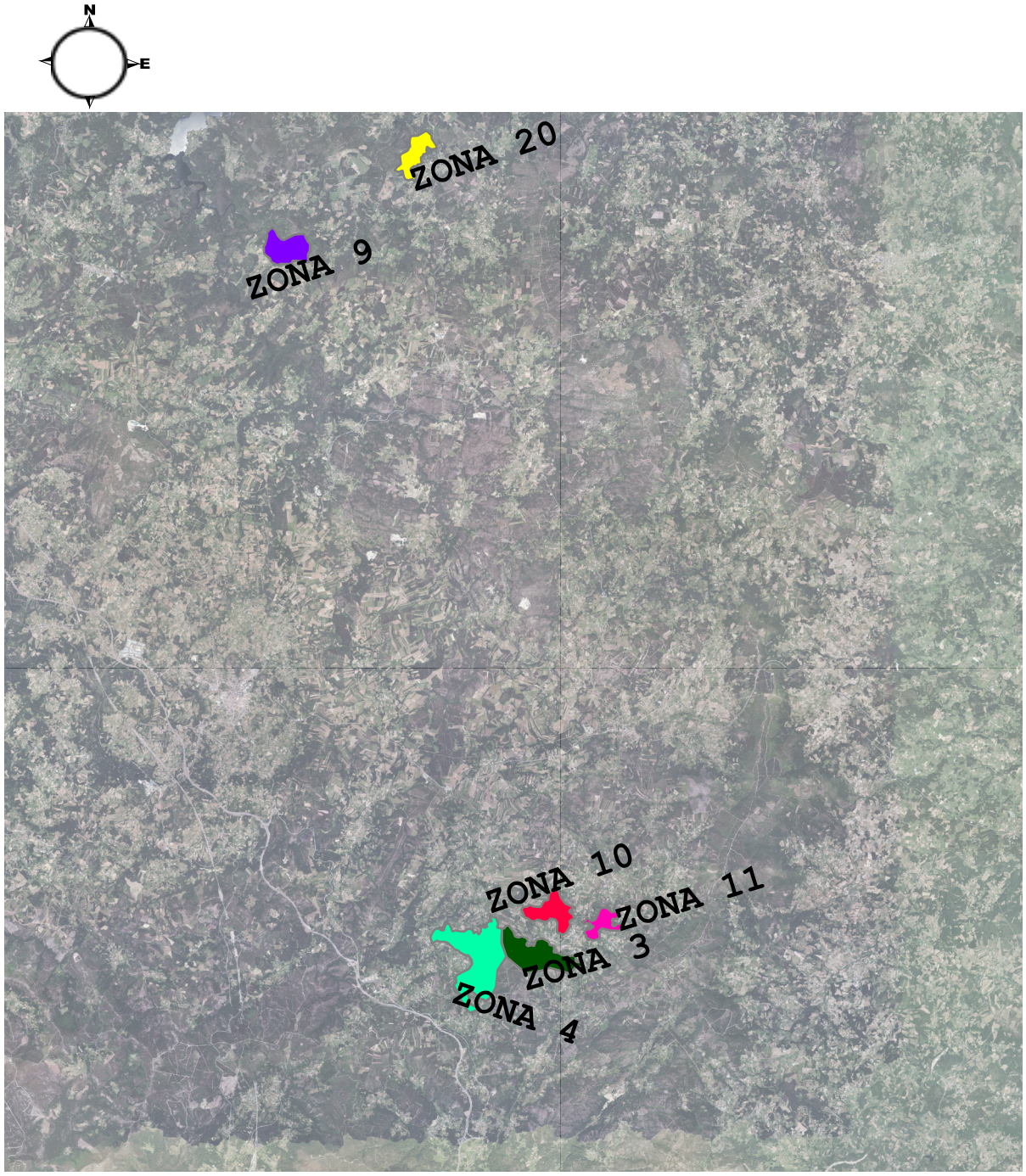
[34] GvSIG association, Manual de usuario.

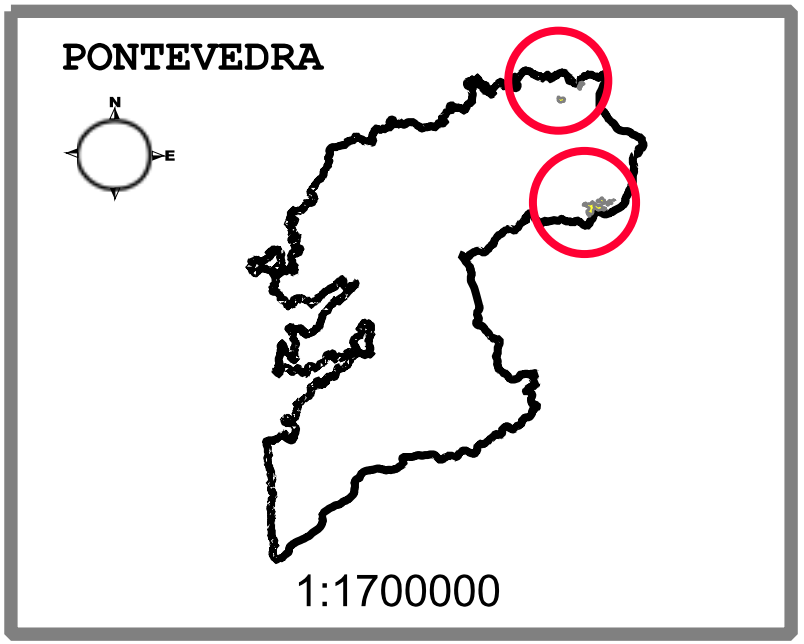
[35] S. Ibañez Asensio, «web de la Universidad Politecnica de Valencia,» [En línea]. Available: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La%20pendiente%20del%20terreno.pdf.

[36] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, «Sede Electrónica del Catastro,» [En línea]. Available: http://www1.sedecatastro.gob.es/.

ANEXO I: MAPAS TEMÁTICOS

.



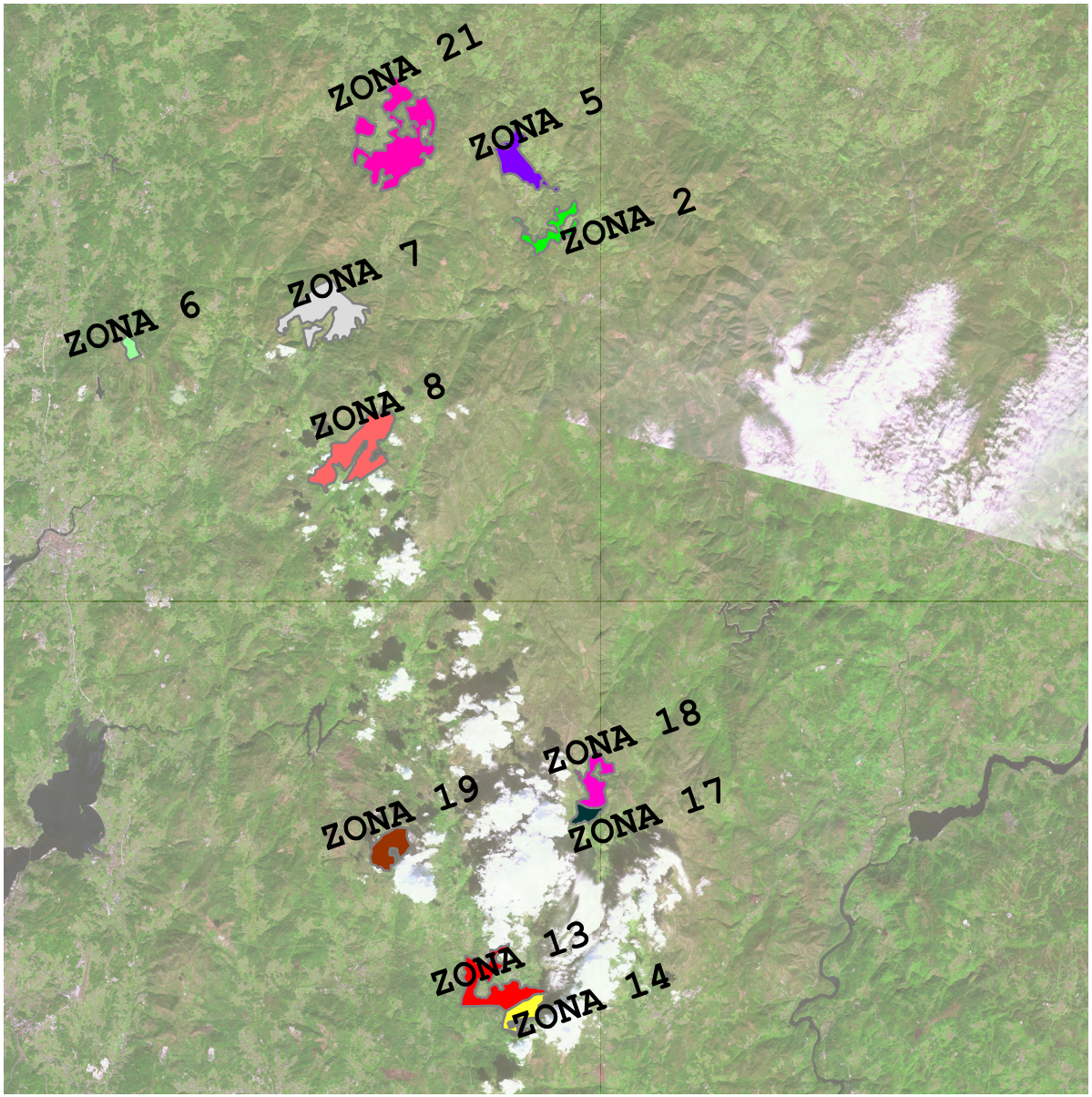


LEYENDA

- Zona 10
- Zona 11
- Zona 20
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 9

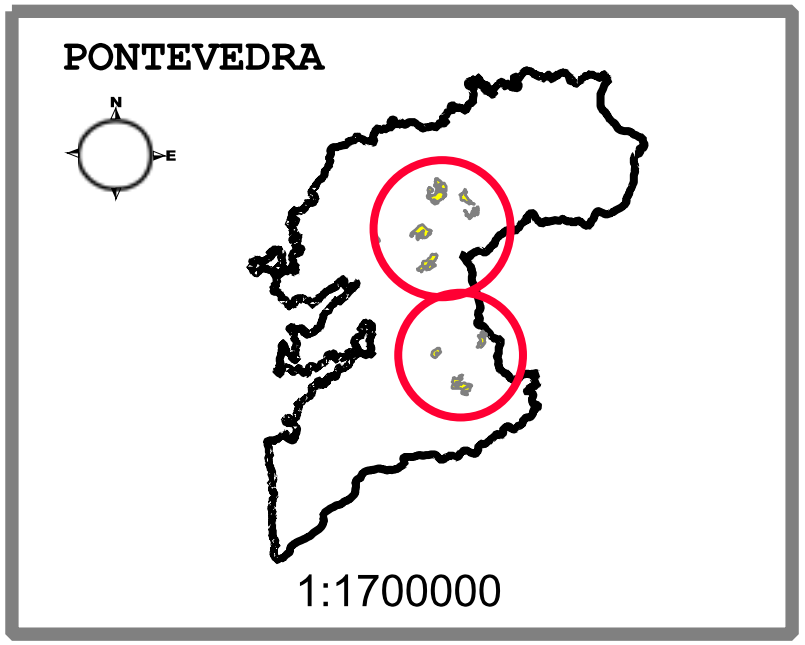
ZONAS APTAS NORTE

AUTOR:	DATUM:	COORDENADAS:	DIN:
Jesús Sevilla Sánchez	ED50	UTM	A4
HUSO:	FECHA:	ESCALA:	Nº DE PLANO:
29	25/02/16	1:220000	1



6.000 0 6.000 12.000 18.000

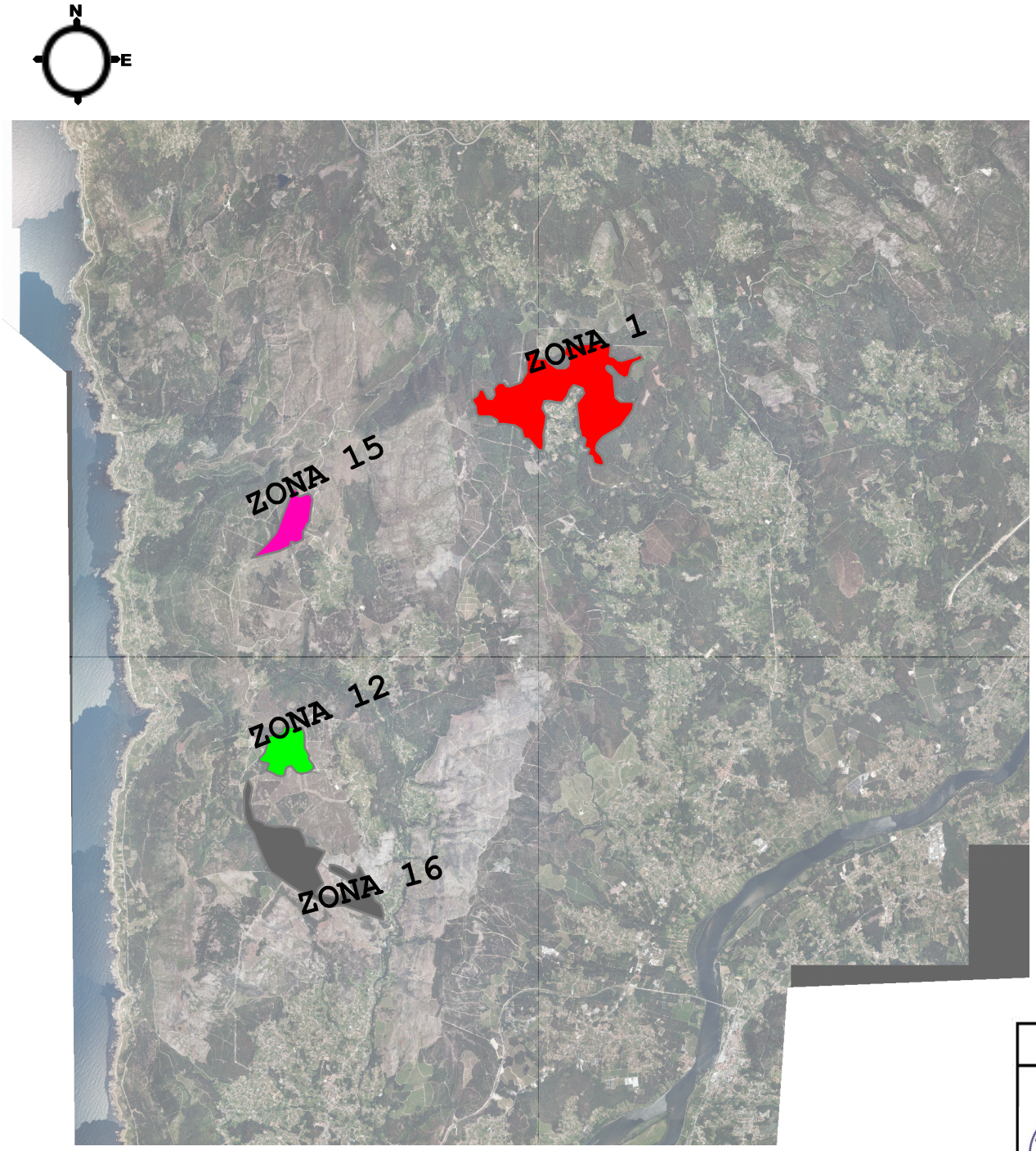
Metros

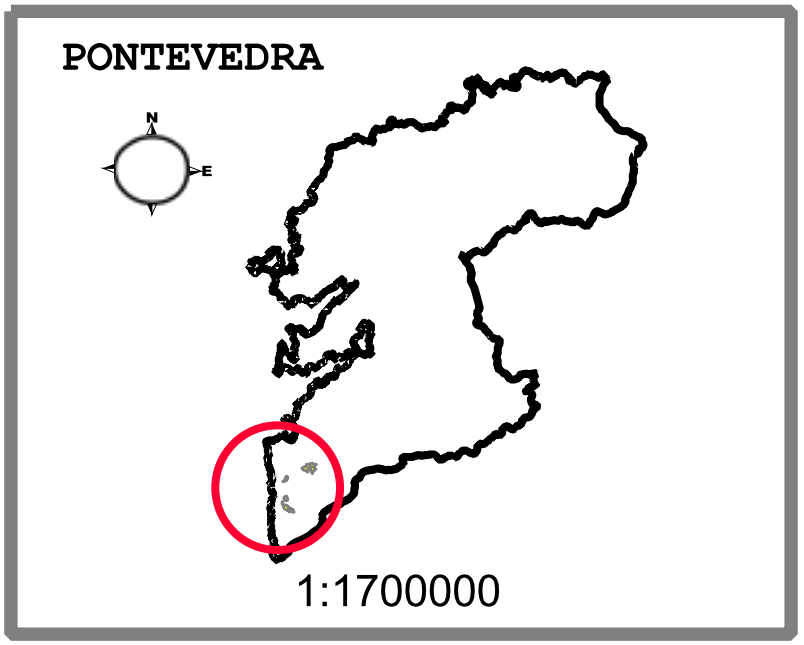


LEYENDA

- Zona 13
- Zona 14
- Zona 17
- Zona 18
- Zona 19
- Zona 2
- Zona 21
- Zona 5
- Zona 6
- Zona 7
- Zona 8

ZONAS APTAS CENTRO				
	AUTOR: Jesús Sevilla Sánchez	DATUM: ED50	COORDENADAS: UTM	DIN: A4
	HUSO: 29	FECHA: 25/02/16	ESCALA: 1:350000	Nº DE PLANO: 2

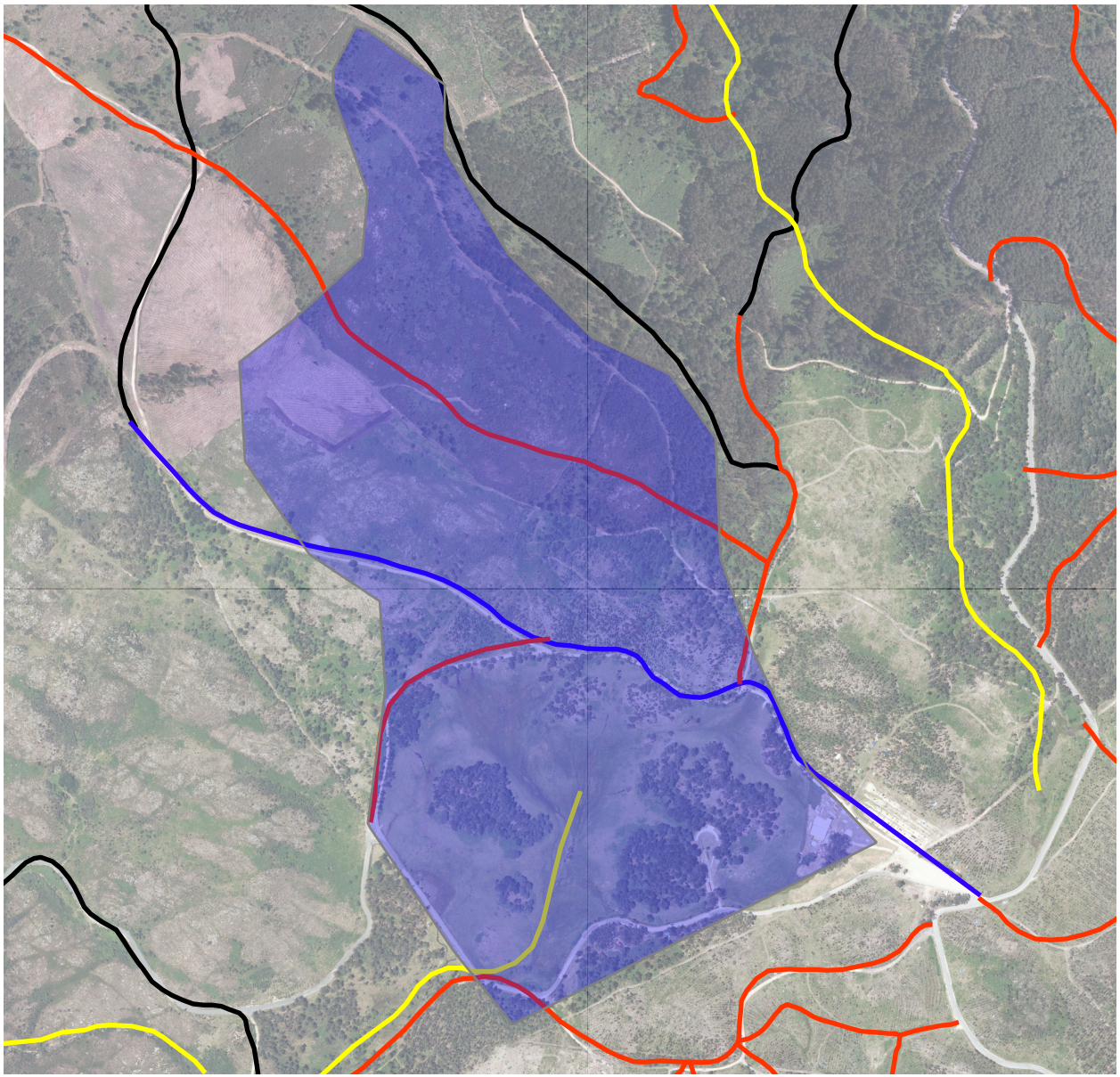




LEYENDA

- Zona 1
- Zona 12
- Zona 15
- Zona 16

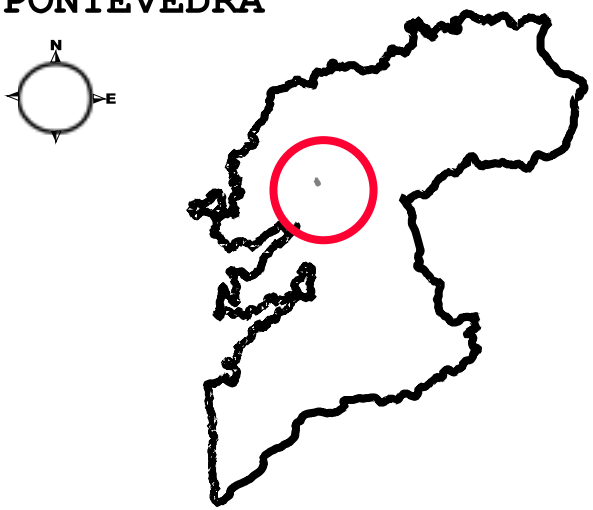
ZONAS APTAS SUR				
	AUTOR: Jesús Sevilla Sánchez	DATUM: ED50	COORDENADAS: UTM	DIN: A4
	HUSO: 29	FECHA: 25/02/16	ESCALA: 1:120000	Nº DE PLANO: 3



200 0 200 400 600

Metros

PONTEVEDRA



1:1700000

LEYENDA

- RIO
- SENDA
- PISTA
- CAMINO

ZONA EJEMPLO				
	AUTOR: Jesús Sevilla Sánchez	DATUM: ED50	COORDENADAS: UTM	DIN: A4
	HUSO: 29	FECHA: 25/02/16	ESCALA: 1:10500	Nº DE PLANO: 4

MATERIAL CLASIFICADO