
This is the **published version** of the text:

Garcia Diaz, Lorena; Just Orriols, Ariadna, dir. Pueblos abandonados de Cataluña. Análisis espacial de su dinámica territorial y de los cambios en sus edificaciones. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2023. (Geoinformació)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/283023>

under the terms of the  license

PUEBLOS ABANDONADOS DE CATALUÑA. ANÁLISIS ESPACIAL DE SU DINÁMICA TERRITORIAL Y DE LOS CAMBIOS EN SUS EDIFICACIONES.

Geog. Lorena García Díaz

Trabajo de Final de Máster- Máster en Geoinformación (2022/23)
Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). lorena.garciadi@autonoma.cat

RESUMEN

El presente estudio muestra la metodología desarrollada para analizar las dinámicas territoriales que ocurren en los pueblos abandonados de Cataluña y en las áreas de su entorno inmediato. Dicho análisis, el cual utiliza distintas fuentes de datos de acceso público, involucra calcular los tiempos de acceso vial a diferentes puntos de interés territorial, para analizar la conectividad vial de los pueblos abandonados como una de las probables causas de su despoblamiento. Asimismo, como parte de lo que pueden ser consecuencias del abandono de los pueblos, el presente estudio abarca la observación de los cambios ocurridos en las cubiertas del suelo y en la fragmentación del bosque, durante un período aproximado de diez años. Respecto a estos últimos, se utilizaron mapas de cubiertas del suelo provenientes del CORINE Land Cover (CLC) y del Sistema de Información de Ocupación de Suelo de España (SIOSE), de los años 1990 y 2000 en el caso de la primera, y de los años 2005 y 2014 en el caso de la segunda. En relación con lo descrito en este párrafo, las herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) juegan un papel trascendental al permitir realizar todas las operaciones y procesamientos de análisis espacial, vectorial y ráster, que incluye la metodología desarrollada en este trabajo.

Otra temática abordada en este estudio es el análisis de los cambios ocurridos en las edificaciones de un núcleo poblacional abandonado. Debido al contexto, el estudio se enfoca en analizar las pérdidas de altura en las edificaciones. Si se detectan pérdidas de altura, esto podría indicar un probable colapso en alguna estructura del edificio. En tal sentido, para el desarrollo de la metodología se ha visto oportuno explorar las posibilidades y ventajas que ofrece la tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*); tal es así que se utilizaron datos multitemporales provenientes de un sensor LiDAR aerotransportado (ALS), y datos actuales recopilados durante labores de campo con un sensor LiDAR terrestre (TLS). En este aspecto, nuevamente empleando herramientas basadas en SIG y otros programas informáticos dedicados al tratamiento de datos 3D, se analizaron y compararon los resultados obtenidos con las distintas fuentes de datos LiDAR, para determinar sus respectivas ventajas y/o aportes, en este tipo de estudio.

Palabras clave: Pueblos abandonados, dinámica territorial, cubiertas de suelo, fragmentación forestal, cambios en edificaciones, LiDAR, SIG.

ABSTRACT

This study shows the methodology developed to analyze the territorial dynamics that occur in the abandoned towns of Catalonia and in the areas of their immediate surroundings. Said analysis, which uses different publicly accessible data sources, involves calculating road access times to different points of territorial interest, in order to analyze the road connectivity of

abandoned towns as one of the probable causes of their depopulation. Likewise, as part of what may be the consequences of the abandonment of the towns, the present study includes the observation of the changes that occurred in the soil cover and in the fragmentation of the forest, during a period of approximately ten years. Regarding the latter, land cover maps from the CORINE Land Cover (CLC) and the Spanish Land Occupancy Information System (SIOSE) were used, from the years 1990 and 2000 in the case of the former, and from the years 2005 and 2014 in the case of the second. In relation to what is described in this paragraph, tools based on Geographic Information Systems (GIS) play a transcendental role by allowing all operations and processing of spatial, vector and raster analysis, which includes the methodology developed in this work.

Another theme addressed in this study is the analysis of the changes that occurred in the buildings of an abandoned population center. Due to the context, the study focuses on analyzing height losses in buildings. If height losses are detected, this could indicate a probable collapse in some building structure. In this sense, for the development of the methodology it has been seen appropriate to explore the possibilities and advantages offered by LiDAR technology (Light Detection and Ranging or Laser Imaging Detection and Ranging); So much so that multitemporal data from an airborne LiDAR sensor (ALS) and current data collected during field work with a terrestrial LiDAR sensor (TLS) were used. In this regard, again using GIS-based tools and other computer programs dedicated to 3D data processing, the results obtained with the different LiDAR data sources were analyzed and compared, to determine their respective advantages and/or contributions, in this type of study.

Keywords: *Abandoned towns, territorial dynamics, land cover, forest fragmentation, changes in buildings, LiDAR, GIS.*

1. INTRODUCCIÓN

Existen pueblos en Cataluña que, debido a diferentes dinámicas territoriales, han sufrido un proceso de abandono total o parcial. Una posible causa del despoblamiento de un lugar puede ser la conectividad vial, es decir la forma en que dichos pueblos se encuentran articulados a los principales puntos de interés dentro de las divisiones administrativas mayores. Las consecuencias del abandono, en cambio, pueden ser cambios en las dinámicas territoriales, las cuales pueden estudiarse mediante el análisis de las cubiertas del suelo y de la fragmentación forestal. La disponibilidad de mapas de cubiertas del suelo, y el uso de las herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG), son clave para establecer unos patrones y explicar unas dinámicas territoriales de los diferentes núcleos abandonados.

En los Países Catalanes existen un total de, aproximadamente, 270 pueblos abandonados (Pobles Abandonats, 2023). En estas páginas se pretende analizar cuáles son las posibles causas del despoblamiento y qué consecuencias hay en el territorio en el momento que se abandona un pueblo. Para ello, y con el fin de analizar las diferentes dinámicas, el presente estudio se realiza con los pueblos abandonados de las comarcas de Noguera y Segarra. La primera incluye un total de 14 pueblos, mientras que la segunda abarca 12. Al respecto, el estudio se encuentra conformado por tres partes fundamentales.

- Parte 1. Análisis de la accesibilidad vial desde los pueblos abandonados hacia distintos puntos de interés territorial (capital comarcal, capital municipal, CAP, hospital), lo cual comprende calcular el destino accesible en el menor tiempo de desplazamiento.
- Parte 2. Observación de los cambios en las cubiertas del suelo y la fragmentación forestal.
- Parte 3. Análisis de los cambios en las edificaciones, mediante datos LiDAR provenientes de un sensor aerotransportado, y además observar los aportes que ofrece un sensor LiDAR terrestre. Es importante destacar, que esta parte no se ha desarrollado a escala de comarca, y la prueba piloto se ha centrado en el pueblo Marmellar de Montmell (Comarca Baix Penedès).

Según lo descrito en los párrafos precedentes y para direccionar la línea del presente estudio se plantean las preguntas de investigación siguientes: *¿Existen diferencias de conectividad vial entre la comarca de la Noguera y la Segarra? ¿La conectividad vial puede ser uno de los motivos para el abandono de los pueblos? ¿Cuál es la cubierta de suelo que en superficie predomina en el entorno inmediato de los pueblos abandonados, y que cambios ha sufrido? ¿Qué cubiertas de suelo han sufrido los mayores cambios en el entorno inmediato de los pueblos abandonados? ¿En el entorno inmediato a los pueblos abandonados, la fragmentación forestal ha aumentado o disminuido? ¿Existen diferencias en las dinámicas territoriales entre las comarcas de la Noguera y la Segarra? ¿Se puede analizar los cambios en las edificaciones de los pueblos abandonados, a partir de los datos captados con sensor LiDAR aerotransportado? ¿En el análisis de las edificaciones de los pueblos abandonados, cuál es el aporte de los datos captados con sensor LiDAR desde plataforma terrestre?*

Para desarrollar este estudio, la estructura del presente artículo se divide en nueve (09) apartados: En este apartado introductorio se describe al estudio en general y se plantean las interrogantes que guiarán los ejes de trabajo, en un segundo apartado se contextualiza el desarrollo del estudio y se relaciona con la teoría existente citando otros estudios con temáticas similares y/o afines, en el tercero se definen los objetivos, uno general y tres específicos, en el cuarto apartado se describe y caracteriza el área de estudio, en el quinto se detallan las fuentes de datos utilizadas, mientras que en el sexto apartado se describe la metodología utilizada

según cada objetivo específico del proyecto, el séptimo detalla los resultados obtenidos incluyendo su respectivo análisis, y continúa con el apartado de las conclusiones esenciales y concretas de lo alcanzado con el desarrollo del estudio, finalmente seguida por la parte de referencias y bibliografía consultadas. Adicionalmente se incluye una sección de anexos.

2. CONTEXTO Y MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este estudio se encuentra en el marco del proyecto *“Pobles Abandonats. Una herència universal per al coneixement i el desenvolupament del territori”*, el cual viene siendo impulsado desde el año 2018 por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), con la participación del Instituto Ramon Muntaner (IRMU) y la Coordinadora del Centros de Estudios de Habla Catalana (CCEPC). Dicho proyecto tiene como objetivo observar, analizar y documentar las unidades poblacionales que han sufrido un proceso de abandono total o parcial, definitivo o estacional, y reconstruir las características y la sociedad que se ubica desde un análisis interdisciplinario (Pobles abandonats, 2023). En ese sentido, desde el lado de la geografía resulta sumamente importante el análisis de las dinámicas territoriales en los pueblos abandonados y su entorno inmediato, y para ello los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se sitúan como la herramienta fundamental para desarrollar todos los procesos de análisis espacial que se requieren. En mayor o menor medida, un SIG siempre incorpora una serie de formulaciones que permiten la obtención de resultados y el análisis de los datos espaciales. Estas formulaciones representan procesos que pueden ser sumamente sencillos o enormemente complejos, y que pueden resultar de aplicación en uno u otro campo, o incluso con carácter general (Olaya, 2020).

El despoblamiento no es ninguna novedad en los pueblos rurales de España, así como en Europa y otras partes del mundo. Los lugares despoblados son aquellos territorios dónde antiguamente había presencia humana y asentamientos de población ligados a unos usos y actividades sobre el territorio y que, en algún momento, por causas de diversa índole, han sido abandonados por sus habitantes (Torró, 1990). El estudio de las causas que motivan la despoblación de un territorio es realmente complejo y pueden darse por múltiples factores. No obstante, analizar la accesibilidad resulta ampliamente relevante, pues tal como lo señala Collantes (2004, p.218), una de las principales causas del despoblamiento, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX, es por el muy deficiente acceso a equipamientos, infraestructuras y servicios, en parte condicionado por la difícil orografía del territorio, y sobre todo comparándolo con la accesibilidad y ventajas que iba ofreciendo el desarrollo en las ciudades.

Por otro lado, cuando se analiza el despoblamiento de un núcleo de población, ya sea total o parcial, no implica necesariamente el abandono de su entorno ni de los usos del territorio y las actividades económicas. En muchos casos se ha producido el abandono del hábitat, pero se han conservado las explotaciones agrarias y las actividades de aprovechamiento de los recursos propios del lugar (Guirado González, 2008). En ese sentido, el presente estudio ha propuesto analizar los cambios en las cubiertas del suelo, con distintos radios de influencia (500m, 1000m, 5000m) desde los pueblos abandonados, lo cual ayudará a reflexionar sobre el patrón que predomina en el uso del suelo, y observar si ha existido cambios en las actividades económicas que se venían desarrollando y/o si se van generando nuevas dinámicas territoriales en los pueblos y su entorno inmediato. Por ejemplo, si se tuvieran resultados de importantes descensos de superficie en las cubiertas de cultivo y/o pastos, implicaría también una incidencia y modificación del paisaje, pues dicha situación abre paso a la regeneración natural de los matorrales y los bosques. Asimismo, cuando se refiere a estudios de los cambios en las cubiertas del suelo, resulta importante incluir la temática de fragmentación forestal, donde se

analiza de forma particular la superficie forestal del territorio, y según las características que presenta se determina clasificaciones en la fragmentación; y como una menor fragmentación favorece la continuidad forestal, ello puede ser utilizado para un análisis mayor en un tema de gran interés y de contexto actual, tal como es, el aumento de la continuidad forestal y su potencial influencia en la propagación de los incendios forestales (Badia, Gisbert 2021).

En los núcleos que han sido totalmente abandonados, pero en los que se conserva el uso tradicional del territorio, la repercusión sobre el medio físico es prácticamente nula, debido a la continuidad de las actividades económicas tradicionales que ayudan a conservar gran parte de los elementos paisajísticos existentes. Sin embargo, esta situación tiene importantes consecuencias en las edificaciones del núcleo poblacional, pues son lugares, que una vez se han quedado sin habitantes, se han ido degradando por factores climáticos, quedando asentamientos en ruinas. La destrucción de estos hábitats supone la pérdida de un importante patrimonio arquitectónico y artístico (Guirado González, 2008).

En relación con el párrafo anterior, en el presente estudio se ha visto oportuno explorar las posibilidades y ventajas que podría ofrecer la tecnología LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) en el análisis de las edificaciones de los núcleos poblacionales abandonados, con la finalidad de detectar y monitorear los cambios que pueden haber sufrido en el tiempo, además de la posibilidad de registrar y/o documentar visualmente edificaciones de interés para la conservación patrimonial. LiDAR, es una tecnología de detección remota activa que puede proporcionar conjuntos densos de nubes de puntos de un objetivo escaneado. Esta tecnología, principalmente desde un sensor aerotransportado, ha sido ampliamente investigada con numerosos enfoques desde hace casi 20 años, y etiquetada como una técnica emergente y práctica para el modelado 3D de ciudades inteligentes en los últimos años debido a su naturaleza no invasiva, alta precisión, alta resolución, y con adquisición de datos de forma rápida y flexible (Liu et al. 2020). En cuanto a la observación del patrimonio que aún se encuentra en pie en los pueblos abandonados, el presente estudio aborda el análisis de los cambios en las edificaciones, y para ello se apoya en la tecnología LiDAR, que ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde ofrecer en años anteriores la posibilidad de transportar el sensor en una plataforma aérea, hasta los últimos años que existen plataformas terrestres que desarrollan escaneos láser de alta velocidad, densidad y precisión. Al respecto, investigando estudios similares o afines, existen diversos realizados en el continente asiático, uno de ellos es el de Yamazaki et al. (2022), desarrollado con la finalidad de analizar y detectar los cambios ocurridos en las edificaciones como consecuencia de un evento sísmico, y plantea una metodología generando modelos digitales de superficie (DSM) a partir de datos LiDAR captados con sensor aerotransportado. De forma similar, Vögtle y Steinle (2004) utilizan como base de su estudio, los modelos digitales de superficie (DSM) generados a partir de datos LiDAR de diferentes épocas para identificar edificios y comparar posteriormente los resultados, con el fin de detectar cambios en el entramado urbano. Análogamente, otros estudios han utilizado datos LiDAR multitemporales para detectar cambios en las edificaciones urbanas (Vu et al. 2004; Butkiewicz et al. 2008; Trinder et al. 2011).

Por otro lado, aún no se ha profundizado mucho, pero con el surgimiento de los sistemas LiDAR terrestres ha sido posible obtener el registro y detalle de las fachadas de los edificios. En ese sentido, Zhang et al. (2018) desarrollaron un algoritmo para la extracción de las fachadas de los edificios a partir de las nubes de puntos obtenidas con LiDAR terrestre. El levantamiento con sensor LiDAR aerotransportado permite el modelaje de los tejados. Sin embargo, no de las fachadas. En cambio, el LiDAR terrestre se muestra eficiente en el mapeo de las paredes y fachadas, pero es imposible captar tejados. Entonces, una solución planteada para obtener la representación completa de un edificio es la combinación de ambos levantamientos, aerotransportado y terrestre, en donde ambos productos serían complementarios (Boulaassal et al. 2007).

Aunque existen diversos estudios relacionados al análisis de cambios en las edificaciones haciendo uso de la tecnología LiDAR aerotransportada. Hay que tomar en cuenta que la mayoría de ellos han sido realizados en áreas urbanas consolidadas, donde existe un catastro base, y los edificios se encuentran bien definidos en cuanto a su huella y forma estructural. Dicho panorama, es muy distinto en un núcleo poblacional totalmente abandonado desde hace varias décadas, donde las condiciones climáticas han causado profundos deterioros, pues en gran parte de los casos los tejados se encuentran derruidos, e incluso el avance de la masa vegetal se ha establecido de forma abundante sobre las estructuras que aún quedan en pie.

3. OBJETIVOS

El estudio tiene como objetivo general analizar la dinámica territorial en los pueblos abandonados y su entorno inmediato. Asimismo, tiene la finalidad de establecer una metodología adecuada para analizar y observar en el tiempo los cambios y/o diferencias en las edificaciones del núcleo poblacional, utilizando datos basados en tecnología LiDAR, provenientes de distintas fuentes. Para organizar el estudio, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

OE1: Examinar la accesibilidad vial desde los pueblos abandonados hacia la capital comarcal, capital de municipio y servicios básicos de salud (Centros de Asistencia Primaria y Hospitales).

OE2: Obtener los cambios en las cubiertas del suelo y la fragmentación forestal en el entorno inmediato de los pueblos abandonados.

OE3: Analizar los datos multitemporales captados con sensor LiDAR aerotransportado, para detectar cambios en las edificaciones. Asimismo, procesar y evaluar los datos recopilados mediante un sensor LiDAR terrestre, para observar su aporte en el análisis de las edificaciones de los pueblos abandonados.

4. ÁREA DE ESTUDIO

Para los dos primeros ejes temáticos se ha seleccionado como área de estudio las comarcas de Noguera y Segarra, y dentro de ellas la cantidad total de veintiséis (26) pueblos abandonados. No obstante, para el desarrollo del tercer eje se ha seleccionado el pueblo abandonado denominado Marmellar, el cual se encuentra dentro del municipio El Montmell, perteneciente a la comarca del Baix Penedès. Esta última elección ha venido suscitada por la disponibilidad de datos LiDAR con mayor densidad de puntos por metro cuadrado.

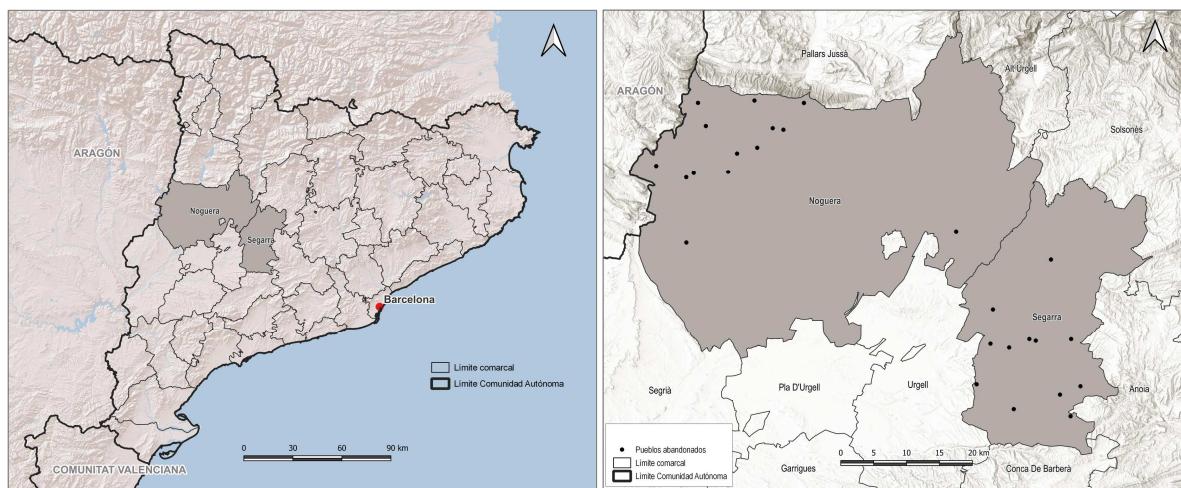
La Comarca de Noguera pertenece a la provincia de Lleida, se encuentra situada en el centro occidental de Cataluña, en la frontera con Aragón (Figura 1). Cuenta con una superficie aproximada de 1784.1 km², la mayor extensión entre todas las comarcas de Cataluña. Al año 2022, Noguera cuenta con una población de 39 297 habitantes (Idescat, n.d.). Los catorce (14) pueblos abandonados incluidos en el desarrollo de este estudio, se encuentran situados al nor-oeste de la comarca, la cual es frontera limítrofe con la provincia de Aragón. Nueve de ellos (La Figuera, Claret, Tragó de Noguera, Alberola Vella, Oroners, Sant Just, Mallabecs, Colobor Vell y Cas) se encuentran en situación de abandono total, es decir sin habitantes y con viviendas en mal estado de conservación; cuatro pueblos (Alberola, Corçà, Fontdepou y Vilamajor) aún se consideran núcleos vivos pero en riesgo de despoblamiento, conservando en general aún viviendas en buen estado; y un pueblo (Millà) se encuentra en proceso de

recuperación, pues sobre todo en el verano mantiene una población de segunda residencia y conserva viviendas en regular estado.

La comarca de Segarra pertenece a la provincia de Lleida, se encuentra situada en una meseta de la depresión central del territorio catalán (Figura 1). Cuenta con una superficie aproximada de 722.7 km². Al año 2022, Segarra cuenta con una población de 23 601 habitantes (Idescat, n.d.). Los doce (12) pueblos abandonados incluidos en este estudio (Briançó, La Cardosa, L'Aranyó, Malgrat, Alta-Riba, La Móra, Ratera, Talteüll, La Prenyanosa, Gramuntell, Montfar y La Rabassa) se encuentran en distintas zonas de la comarca. No obstante, están concentrados en la zona centro y sur. En esta comarca los doce núcleos poblacionales con procesos de abandono, aún se consideran núcleos vivos, con población flotante. Asimismo, las viviendas en general se conservan en buen estado.

Figura 1

Izquierda: Localización de las comarcas de Noguera y Segarra. Derecha: Localización de los pueblos abandonados analizados en la parte 2 del presente estudio.



El pueblo abandonado Marmellar (Lat.41.35069 – Long.1.53578) pertenece a la provincia de Tarragona, y se encuentra en la comarca del Baix Penedès (Figura 2). El origen de su asentamiento es de la época del bajomedieval, y el proceso de abandono se intensificó después del incendio del año 1970. Actualmente no hay ningún habitante y las edificaciones que se encuentran en mal estado, con los tejados derruidos y avance de la masa vegetal sobre los muros, son prácticamente todas las del pueblo (Pobles Abandonats, 2023).

Figura 2

Localización del pueblo abandonado Marmellar, analizado en la parte 3 del estudio.



5. FUENTES DE DATOS

Los datos utilizados para el presente estudio proceden de distintas fuentes, y se han agrupado en aquellos que son referencia general y los que se utilizaron según los objetivos específicos propuestos.

Referencia general

Son los datos espaciales que sirven como capas base necesarias para la construcción de los distintos análisis y operaciones espaciales en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- Divisiones administrativas de Cataluña. Los cuales pertenecen y fueron descargados desde la página web del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). La escala utilizada fue 1:5000 de las divisiones de comarca, municipio, y adicionalmente las capitales municipales. Estos datos son necesarios como capas base para la localización geográfica del área de estudio y para el desarrollo de los procesos de análisis espacial.
- Red vial. Los cuales pertenecen y fueron descargados desde la página web (Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica) del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La red vial es necesaria para construir el análisis de redes en SIG, en el cual se han calculado los costos en tiempo desde los pueblos abandonados hacia los puntos de interés territorial (capital comarcal, capital municipal) y servicios básicos de salud (centros de atención primaria, y hospitales). Cabe precisar que la descarga de los datos es por provincias, entonces cuando se

trata de comarcas que son limítrofes con otras provincias, debemos tener especial atención en descargar todas las redes viales que se encontrarían involucradas en el análisis espacial.

- Pueblos abandonados. Los cuales tomaron como referencia las coordenadas geográficas incorporadas en la página web del proyecto "*Pobles Abandonats. Una herència universal per al coneixement i desenvolupament del territori*", y la fecha de corte fue el 27 de marzo del año en curso, la cual da inicio al presente estudio. Cabe resaltar, que no todas las coordenadas brindadas en dicha página ofrecieron la ubicación correcta del núcleo poblacional, razón por la cual se realizó una búsqueda en distintos visores cartográficos para detectar las coordenadas con la localización correcta, en especial se utilizaron las búsquedas por toponimia del visor cartográfico Vissir3 del ICGC. Ha sido necesario contar con la ubicación exacta de los pueblos abandonados porque a partir de ello se generan las capas de áreas de influencia empleadas para el análisis.

Para los Objetivos Específicos 1 y 2

- Servicios básicos de salud. Se ha utilizado los servicios básicos de salud de las Comunidades Autónomas de Cataluña y Aragón. Ello, debido al contexto limítrofe de la comarca de Noguera.
Los centros de salud de Cataluña se descargaron de la página web de Datos abiertos de la Generalitat de Cataluña, obteniendo una tabla con todos los equipamientos sanitarios, la cual contiene atributos descriptivos y geográficos (coordenadas). A partir de dicha tabla, se filtraron los equipamientos tipificados como Centros de Asistencia Primaria (CAP) y Hospitales para generar tablas excel de cada uno.
Los centros de salud de Aragón se descargaron de la página web de Datos abiertos del Gobierno de Aragón, obteniendo una tabla para los Centros de Atención Primaria y otra para los Hospitales. Dichas tablas contienen los atributos descriptivos y geográficos (coordenadas).
- Cubiertas del suelo. Debido al contexto limítrofe de una de las comarcas incluidas en el presente estudio, se han elegido fuentes de datos espaciales que sirvan para realizar el análisis en Cataluña y en Aragón de forma integrada. Al respecto, se han utilizado las siguientes fuentes de datos:
(1) Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE). Es una base de datos espacial de las cubiertas del suelo de todo España. La escala de referencia es 1:25 000, y ha sido descargada en formato Geopackage desde la página web del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Los años elegidos y descargados para el desarrollo del presente estudio son 2005 y 2014. La descarga es por comunidad autónoma, y se ha considerado Cataluña y Aragón, ya que son los territorios que ocupan los pueblos abandonados de este estudio considerando un radio de influencia máximo de 5.000 metros.
(2) CORINE Land Cover (CLC). Es una base de datos espacial de las cubiertas del suelo de la Unión Europea. La escala es 1:100 000 y la información pertenece a la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA). No obstante, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) también lo ofrece en el Centro de Descargas al igual que la fuente anterior. Los años elegidos y descargados para el desarrollo del presente estudio son 1990 y 2000, y la descarga es a nivel de todo España.

Para el Objetivo Específico 3

- Nube de puntos captada con sensor LiDAR desde plataforma aérea. Generada y administrada por el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). Los datos correspondientes a los años 2008 y 2016, se pueden obtener mediante descarga directa desde la página web del ICGC. Los datos del año 2021 aún no se encuentran disponibles para el público en general, pero se han concedido para el desarrollo del presente estudio en el marco de convenio entre la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). Los datos multitemporales del 2008 y 2016 se distribuyen por bloques de 2 x 2 km en formato LAS comprimido (LAZ), y los datos del 2021 están organizados por bloques de 1 x 1 km. Al respecto, los tres cuentan con características diferenciadas, las cuales podemos visualizar en la Tabla 1.

Tabla 1

Datos multitemporales LiDAR, provenientes del ICGC.

Mes	Año	Densidad (Puntos x m ²)	Espaciado entre puntos (m)	ID Block
Marzo	2008	1,20	0,91	376578
Julio	2016	0,52	1,39	376578
Mayo	2021	9,66	0,32	377578

- Ortofotos a color natural RGB e Infrarrojo. Generadas y administradas por el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC). Se pueden obtener mediante descarga directa desde la página web del ICGC, o desde el *plugin Open ICGC* que se encuentra en el software Qgis, el cual permite descargar la ortofoto del área de estudio, y de esta manera se torna más sencillo trasladar los datos a otros programas. Han sido utilizadas especialmente en la etapa de digitalización preliminar de los polígonos vectoriales de edificios, y durante la clasificación manual. Las ortofotos cuentan con resoluciones espaciales distintas, lo cual se puede visualizar en la Tabla 2.

Tabla 2

Ortofotos multitemporales, provenientes del ICGC.

Año	Resolución espacial
2008	50 cm
2016	25 cm
2021	25 cm

- Nube de puntos captada a partir de escaneos con sensor LiDAR desde plataforma terrestre. Generada durante el trabajo de campo realizado en el mes de mayo del presente año en el pueblo abandonado Marmellar de Montmell. El escáner láser empleado para la captación de la nube de puntos es el BLK360 G1 de Leica Geosystems, el cual pertenece al *OpenLabs* de la UAB, y que fue cedido en uso para

el desarrollo del presente estudio. Con la herramienta *lasinfo* del software LAStools, se ha calculado que la nube de puntos LiDAR obtenida con esta plataforma terrestre, maneja una densidad de 24 578.37 puntos por metro cuadrado.

- Ortofoto actual. Captada a través de un vuelo en dron con sensor RGB, realizado a 120 metros de altura, y llevado a cabo en el mes de mayo del año en curso. Al respecto, se obtuvo un ortomosaico con una dimensión de píxel de 7.5 centímetros de lado. Cabe señalar, que la ortofoto mencionada, fue utilizada como apoyo visual durante algunos de los análisis realizados con las nubes de puntos LiDAR, puesto que tiene una mejor resolución espacial que las ortofotos del ICGC.

6. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo en el presente estudio se encuentra conformada por cuatro partes: (1) preparación de los datos, (2) análisis de la accesibilidad a los puntos de interés básicos desde los pueblos abandonados de la Noguera y la Segarra, (3) estudio de los cambios en las cubiertas del suelo y la fragmentación forestal de dichos pueblos y, finalmente, (4) análisis de datos provenientes de sensor LiDAR con diferentes plataformas, para plantear una metodología de estudio en las edificaciones del pueblo de Marmellar.

Parte general. Preparación de los datos

Se subdivide en dos tareas:

- (1) Georeferenciación absoluta para la creación de la capa de pueblos abandonados y servicios básicos de salud. En esta tarea se pretende obtener una capa de puntos con todos los pueblos abandonados y servicios básicos de salud. Para ello, se han realizado las siguientes acciones:
 - a. Generación de una tabla en EXCEL con la siguiente información: nombre del pueblo, tipo, latitud, longitud, altitud, observación. Es importante destacar que las coordenadas empleadas son de tipo geográfico (WGS84), por la variedad de fuentes de datos que involucramos en el presente estudio, y para lograr una capa que se pueda armonizar con los datos espaciales provenientes de distintas zonas con proyección cartográfica en el Sistema UTM.
 - b. Generación de una tabla excel de Cataluña con los equipamientos sanitarios de Centros de Asistencia Primaria (CAP). Igualmente, se generó una tabla aparte para hospitales. En esta etapa de la metodología hay que tener especial atención y revisar la parte atributiva de los datos espaciales. Por ejemplo, en los datos espaciales de servicios básicos de salud de Cataluña están incluidos muchos consultorios médicos privados, los cuales no deberían ser considerados, porque estamos prioritariamente analizando la accesibilidad vial a servicios públicos que brinden atención universal a los habitantes de los núcleos poblacionales.
 - c. Generación de una tabla excel de Aragón con los equipamientos sanitarios de Centros de Asistencia Primaria (CAP). Igualmente, se generó una tabla aparte para hospitales.
 - d. Georeferenciación absoluta de las tablas creadas en los ítems a, b y c, mediante el software ArcMap con la herramienta *Display XY Data*. Los resultados han sido exportados a cinco capas vectoriales en formato Shapefile: Pueblos abandonados, Hospitales de Cataluña, CAP de Cataluña, Hospitales de Aragón, CAP de Aragón.

(2) Generación de áreas de influencia con radios diferenciados. A partir de la capa vectorial de pueblos abandonados anteriormente generada, se procedió a crear las áreas de influencia (*buffer*) con distintos radios: 500 metros, 1000 metros y 5000 metros. Dichas áreas de influencia sirvieron como base para analizar espacialmente y de forma diferenciada los cambios en las cubiertas del suelo y la fragmentación del bosque.

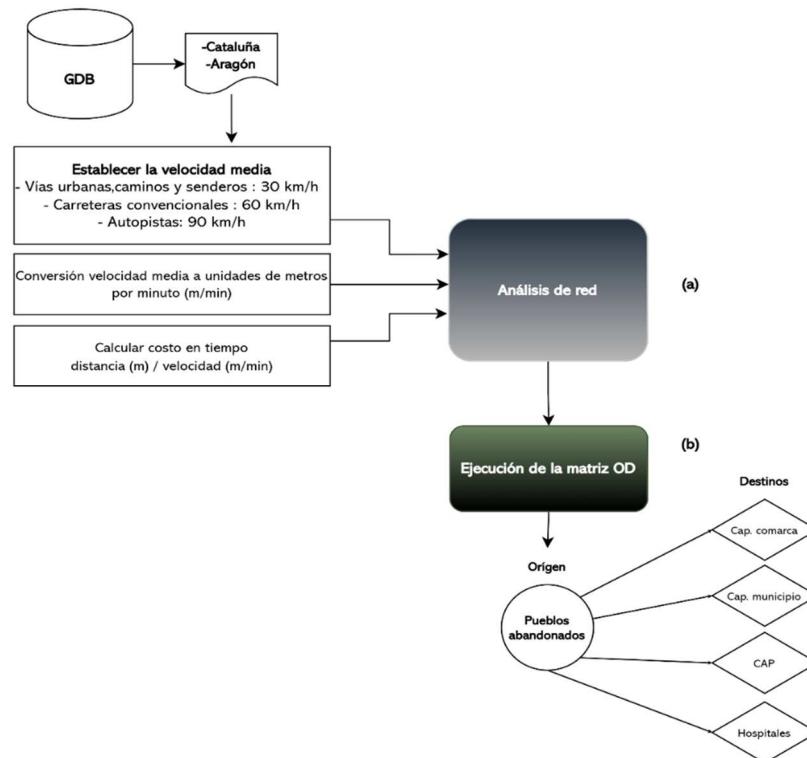
Parte 1. Análisis de la red vial. Accesibilidad

Se ha desarrollado en base a la construcción de un análisis de redes en el software ArcMap, utilizando la extensión de *Network Analyst*. Los datasets de red son apropiados para modelar redes de transporte. Se crean a partir de entidades de origen, que pueden incluir entidades simples (líneas y puntos) y giros, y almacenar la conectividad de las entidades de origen. Al realizar un análisis mediante la *ArcGIS Network Analyst extension*, el análisis siempre se realiza en un dataset de red (ArcMap, n.d.).

Los pasos realizados son los que se resumen en la figura 3, y se describen seguidamente.

Figura 3

Esquema metodológico accesibilidad vial.



- (a) **Construcción del análisis de redes.** Para realizar el análisis de redes, ha sido necesario contar con las capas de la red vial de las provincias de Cataluña y Aragón, y luego importar ambas capas a un *feature dataset* de una *Geodatabase (.gdb)*, que es donde se genera el *Network dataset*.

Al respecto, antes de ejecutar el proceso de construcción de la red, en los *feature class* de la red vial de cada provincia se agregaron y calcularon las siguientes tres columnas:

- La primera fue la velocidad media, la cual se calculó de manera diferenciada según la clase de la vía: 30 km/h para las vías urbanas, caminos y senderos, 60 km/h para las carreteras convencionales y 90km/h para las autopistas.
- La segunda fue la de velocidad media convertida a metros por minuto (m/min).
- La tercera es la del costo de ir en automóvil en función del tiempo, dividiendo la longitud de cada segmento de vía (m) entre la velocidad (m/min).

Una vez calculadas todas las columnas indicadas, se procedió a construir el análisis de redes en forma de capa.

- (b) **Ejecución de la matriz origen destino (OD).** A partir del análisis de la red vial construida en forma de capa, se ejecutó la matriz origen destino, donde los orígenes fueron los pueblos abandonados considerados en este estudio, y los destinos fueron de cuatro tipos distintos (capitales de comarca, capitales de municipio, Centros de Asistencia Primaria y hospitales). Cabe precisar, que se ejecutó la matriz OD cuatro veces, una por cada tipo de destino, obteniendo cuatro capas de accesibilidad representadas por un vector en geometría línea. Asimismo, hay que mencionar que este proceso está diseñado para obtener un destino único para cada origen, el cual en principio es el más accesible por registrar el menor tiempo de desplazamiento.

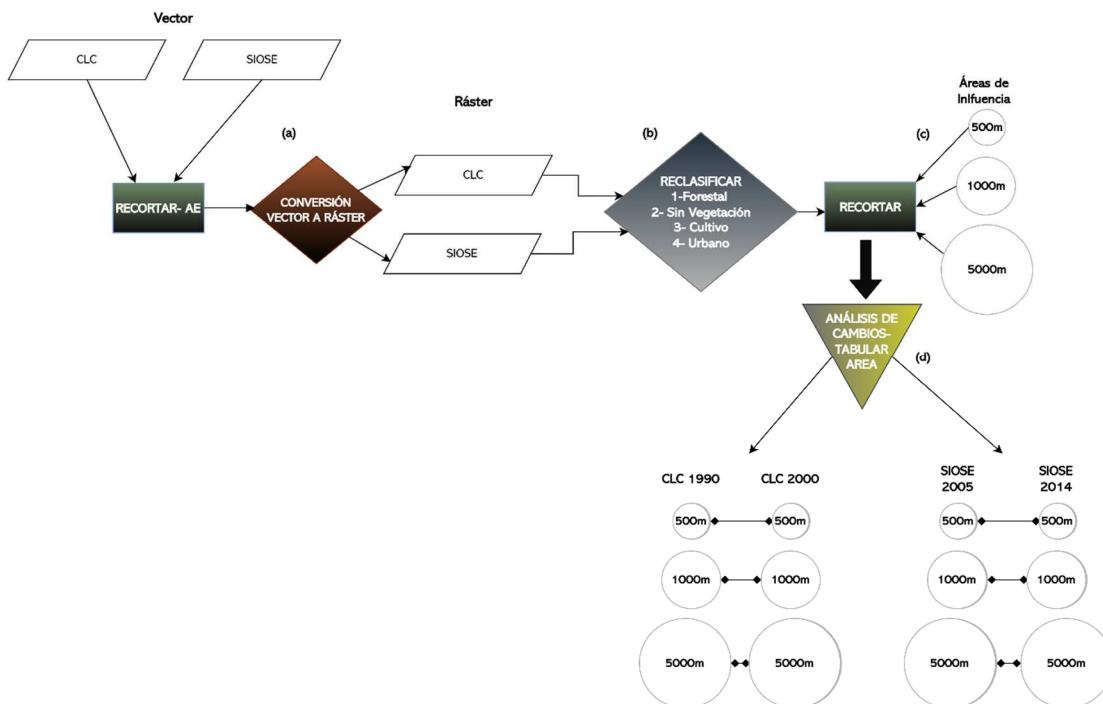
Parte 2. Análisis de los cambios en las cubiertas del suelo y en la fragmentación forestal

Análisis de los cambios en las cubiertas del suelo

El análisis de los cambios en las cubiertas del suelo se ha desarrollado en base a operaciones y procesos de análisis espacial del tipo vectorial y ráster, realizados en el software ArcMap. Estos se resumen en la figura 4, y se describen seguidamente.

Figura 4

Esquema metodológico del análisis de cambios en las cubiertas del suelo.



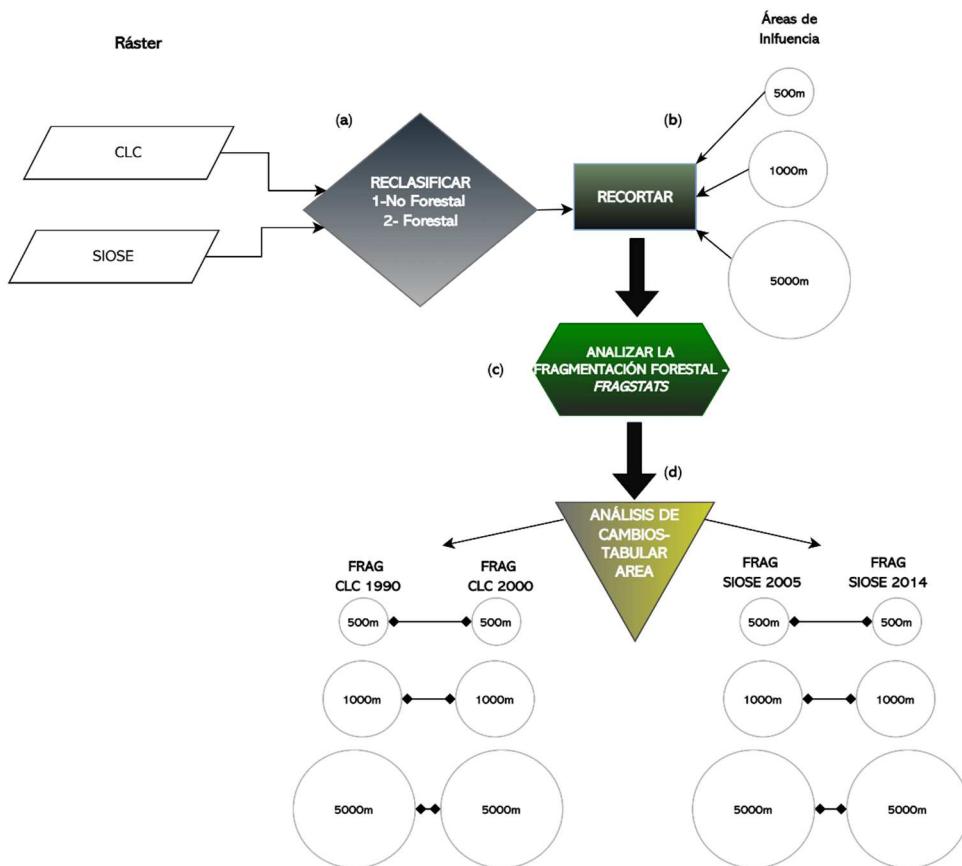
- (a) **Preparación de los datos.** Con la finalidad de delimitar espacialmente el área para ejecutar los geoprocessos que conlleva el desarrollo de esta parte, se generó una capa vectorial de geometría polígono, y con ella se realizó un recorte vectorial de la cobertura del CORINE Land Cover (CLC) de los años 1990 y 2000, y también de la cobertura del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) de los años 2005 y 2014. Luego del recorte vectorial, se utilizó la herramienta *Polygon to Raster* de ArcMap para convertir los cuatro productos a capas ráster en formato TIFF, a partir del valor del código de nomenclatura de la cobertura y con una dimensión de píxel de 25 metros de lado.
- (b) **Reclasificación en cuatro grandes grupos.** Utilizando la herramienta *Reclassify* de ArcMap, se realizó una reclasificación de las capas ráster para convertirlas a capas binarias, pues como se sabe las capas ráster por definición no traen tabla de atributos asociadas. En esta etapa reclasificamos los ráster en cuatro categorías con los siguientes valores: 1-Forestal, 2-Sin Vegetación, 3- Cultivo, 4- Urbano. Cabe destacar, que la clasificación considerada para el grupo forestal se ha realizado siguiendo los criterios del *Observatori Forestal Català (OFC)*, que define como forestal: Bosque – todo terreno poblado por árboles; Matorrales – maquias, landas arbustos, matorrales y situaciones de transición entre bosque y matorral; Otra vegetación – prados, pasturas, herbazales, vegetación de zonas húmedas, pastizales y páramos (OFC, n.d.).
- (c) **Recorte de las capas ráster reclasificadas.** Una vez reclasificadas las capas ráster, se utilizó la herramienta *Extract by mask* de ArcMap, para extraer nuevos ráster con las áreas específicas de análisis, realizando un recorte con las capas vectoriales de las áreas de influencia descritas en la parte general de la metodología (500m,1000m,5000m).
- (d) **Análisis de los cambios en las cubiertas del suelo.** Utilizando la herramienta *Tabulate Area* de ArcMap, se realizó un análisis entre las capas ráster del CLC 1990 y 2000, y entre las capas ráster del SIOSE 2005 y 2014. Dicho procedimiento, nos permite obtener una tabla de doble entrada que permitirá determinar los cambios que han existido en los diferentes períodos comparados, cuantificando las superficies. No obstante, es importante señalar que también la herramienta *Combine* de ArcMap, es útil para desarrollar este análisis, y a diferencia de la anterior herramienta mencionada, ésta nos devuelve una capa ráster con todas las posibles combinaciones que manifiestan los cambios en las cubiertas, asignando un valor único de salida a cada combinación única de valores de entrada.

Análisis de cambios en la fragmentación forestal

El análisis de la fragmentación forestal se ha realizado en el software ArcMap siguiendo distintos geoprocessos y ejecutando herramientas específicas; las cuales se resumen en la figura 5, y se describen inmediatamente después.

Figura 5

Esquema metodológico del análisis de cambios en la fragmentación forestal.

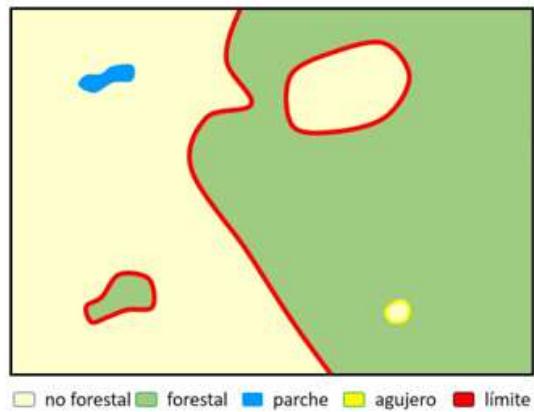


- **(a) Reclasificación en dos grandes grupos.** Nuevamente utilizando la herramienta *Reclassify* de ArcMap, y aprovechando la reclasificación previa que se realizó en cuatro grandes grupos, se realizó una reclasificación sólo en dos categorías con los siguientes valores: 1-No Forestal, 2-Forestal. Esto se realiza para agrupar todos los valores de los píxeles que consideramos forestales, ya que sobre ello se realizará el estudio de la fragmentación.
- **(b) Recorte de las capas ráster reclasificadas.** Una vez reclasificadas las capas ráster, se utilizó la herramienta *Extract by mask* de ArcMap, para extraer nuevos ráster con las áreas específicas de análisis, realizando un recorte con las capas vectoriales de las áreas de influencia descritas en la parte general de la metodología (500m, 1000m, 5000m).
- **(c) Análisis de la fragmentación forestal.** Se realizó utilizando la herramienta *Landscape fragmentation (Fragstats)* de ArcGis creada por Jason Parent en el año 2009, con el soporte del *Center for Land use Education and Research and the Department of Natural Resources and the Environment at the University of Connecticut*. Se basa en la clasificación de patrones forestales de Peter Voght et al. (2007), quien clasifica el análisis en: Forestal (Core forest) que es relativamente

alejado de la frontera forestal-no forestal; Parche (Patch forest) que son regiones forestales demasiado pequeñas para ser consideradas forestal; Agujeros (Perforated forest) que son frontera entre lo forestal y agujeros relativamente pequeños; Borde (Edge forest) al interior de fronteras con agujeros relativamente grandes, tal como muestra la figura 6 (Badia; Gisbert, 2021).

Figura 6

Clasificaciones resultantes del análisis de fragmentación forestal con la herramienta Fragstats



Nota: La figura ejemplifica las distintas clasificaciones de la fragmentación forestal.
 Tomado de *La Continuidad Forestal Como Desafío A Los Incendios En Las Comarcas De Montaña De Cataluña (1993-2018)*. Tomo I (p.529), por Badia y Gisbert, 2021. VII Congreso de la Asociación Española de Geografía.

Utilizando las capas ráster de las cubiertas ya reclasificadas en dos categorías (forestal/no forestal), se ha ejecutado la herramienta *Fragstats*, obteniendo una capa ráster con seis categorías: parche, límite, agujero, forestal \geq a 250 ha, forestal entre 250 ha y 500, forestal $>$ a 500 ha. No obstante, para facilitar los cálculos realizados en base a este análisis luego se agruparon las tres categorías resultantes de forestal en una sola categoría.

- (d) **Análisis de los cambios en la fragmentación.** Para evaluar los cambios en la fragmentación, se utilizó la herramienta *Tabulate Area* de ArcMap, y el análisis se realizó entre las capas ráster resultantes de la fragmentación forestal, del CLC 1990 con el CLC 2000, y del SIOSE 2005 con el SIOSE 2014.

Parte 3. Análisis de los cambios en las edificaciones con datos LiDAR

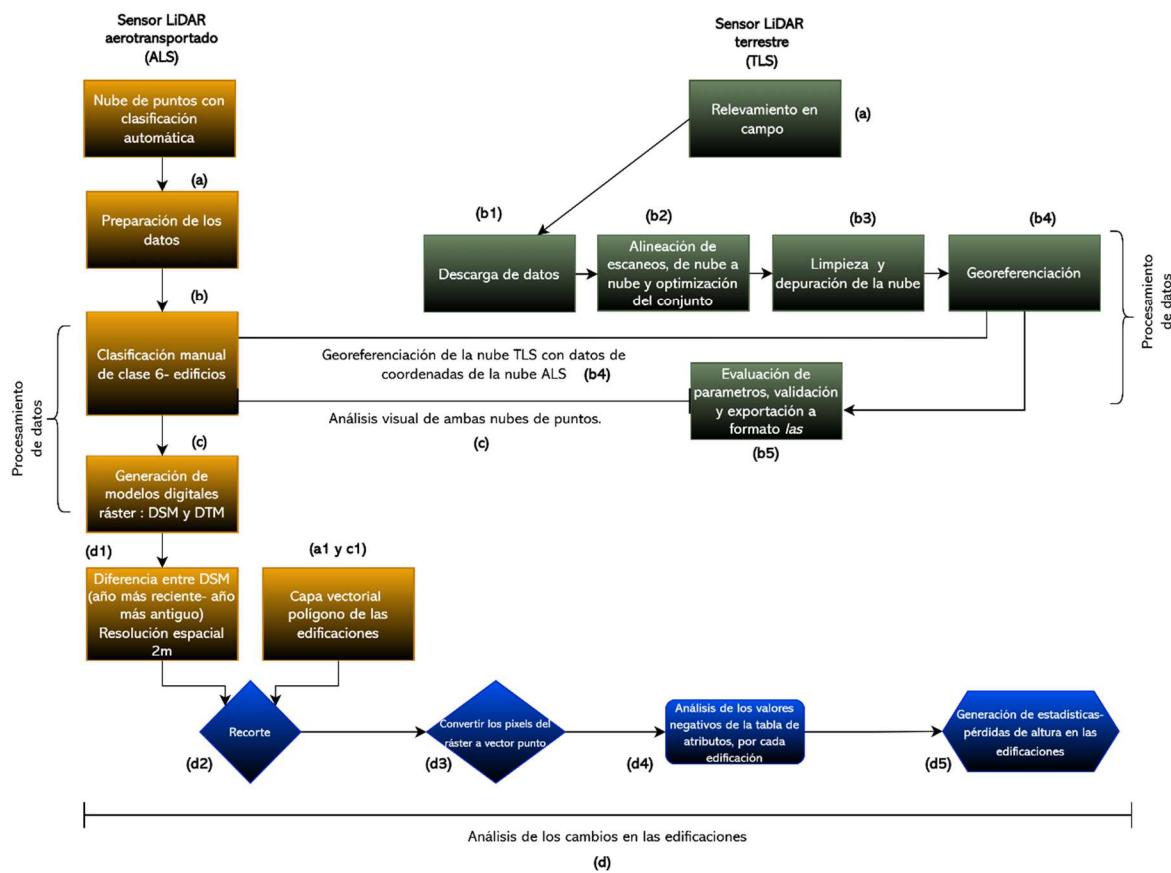
La metodología llevada a cabo acorde al objetivo de esta parte del estudio comprende técnicas y procedimientos ejecutados de forma sucesiva. Inicialmente se describirá la metodología desarrollada con los datos provenientes del sensor LiDAR aerotransportado (ALS), y luego se continuará con el método de trabajo realizado con los datos del sensor LiDAR terrestre (TLS). El esquema metodológico general de este apartado se resume en la figura 7, y se describe inmediatamente después.

Es preciso señalar que, la metodología desarrollada ha tomado como muestra dos edificaciones (*Edificación 01- Rectoría iglesia y Edificación 02- Cal Pigot*) (Figura 8), situadas en el pueblo

abandonado Marmellar de Montmell, donde se ha aplicado el uso de la tecnología LiDAR desde dos plataformas, una aérea y otra terrestre.

Figura 7

Esquema metodológico del análisis de las edificaciones con ALS y TLS



Metodología de trabajo con datos de sensor LiDAR aerotransportado (ALS)

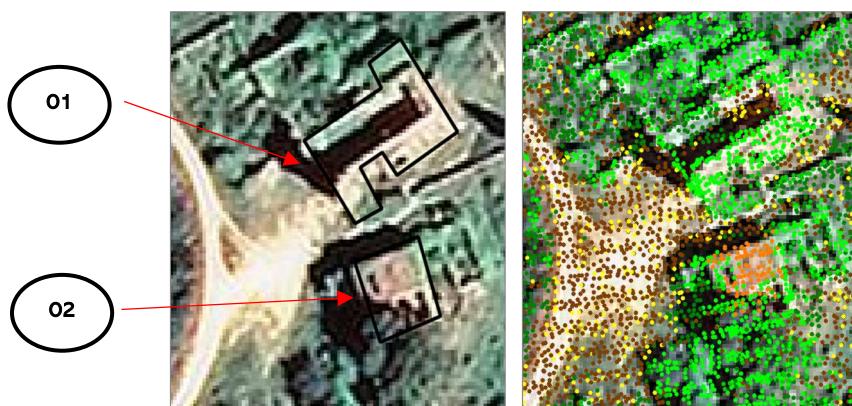
- **(a) Preparación de los datos**

- Recortar la nube de puntos con el polígono vectorial del área de estudio, el cual básicamente comprende el área donde se encuentran las edificaciones del núcleo poblacional abandonado.
- Revisar los metadatos: Densidad de la nube de puntos por metro cuadrado- **2008**: 1.20, **2016**: 0.52, **2021**: 9,66; y espaciamiento entre los puntos- **2008**: 0.91, **2016**: 1.39, **2021**: 0,32. Ello servirá para definir la resolución espacial a la que se puede formar una malla ráster cuando se generen los modelos necesarios para el análisis.
- Verificar la clasificación automática de la nube de puntos. Se debe examinar visualmente para decidir si es suficiente dicha clasificación o esta presenta omisiones y/o errores, lo cual ameritará una clasificación manual posterior, tal como muestra el ejemplo de la figura 8 en la cual se evidencia que buena parte de las edificaciones se encuentran clasificadas como vegetación.

- (a1) Digitalizar los polígonos vectoriales de las edificaciones (Figura 8). Se ha realizado con el apoyo visual de las ortofotos del ICGC. Este paso podría obviarse extrayendo la huella del edificio en 2D mediante técnicas de procesamiento de la nube de puntos. No obstante, en el caso de edificaciones con tejados derruidos, las huellas automáticas de edificios no resultan tan útiles para definir la forma real de las edificaciones; puesto que en principio las huellas de edificios se forman tomando en cuenta los tejados de la edificación.

Figura 8

Izquierda: Ortofoto 2008 ICGC con los vectores en polígono de las edificaciones de muestra. 01- Rectoría iglesia y 02 -Edificio Cal Pigot. Derecha: Nube de puntos 2008 con clasificación automática.



- (b) **Clasificación Manual de los edificios.** En el desarrollo del presente estudio se observó que los datos LiDAR ALS, del 2008, 2016 y 2021, provenientes el ICGC, no tenían la totalidad de las dos edificaciones escogidas clasificadas como edificios, ya que el proceso automático se basa en una clasificación de tejados y en este caso la mayoría de las edificaciones carecen de ellos por estar en su mayoría derruidos, y únicamente conservan sus paredes. Por otro lado, se tiene la abundancia de masa forestal que cubre gran parte de las estructuras. En ese sentido, utilizando el software Global Mapper, y específicamente haciendo uso de la herramienta Classify-Building en el módulo LIDAR del software, se realizó una edición manual de la clase edificios (Buildings) en las dos edificaciones de muestra definidas para el presente estudio, y dicho procedimiento fue realizado en las nubes de puntos de los tres años: 2008, 2016 y 2021 (Ver ejemplo del año 2008 en la figura 9). Cabe señalar, que durante este procedimiento se hizo lo posible por clasificar las paredes dominantes de la edificación (Figura 10), mas no los muros pequeños externos. Asimismo, es preciso mencionar que las ortofotos del ICGC de cada año respectivo, coadyuvaron de manera visual a desarrollar el procedimiento. En el caso de la nube de puntos 2021, el apoyo visual para la clasificación manual fue brindado también por la ortofoto con resolución de píxel de 7.5 centímetros de lado, generada a partir del vuelo con dron durante las labores de campo (Figura 11).

Figura 9

Izquierda: Nube de puntos 2008 con clasificación automática. **Derecha:** Nube de puntos 2008 con clasificación manual de los edificios.

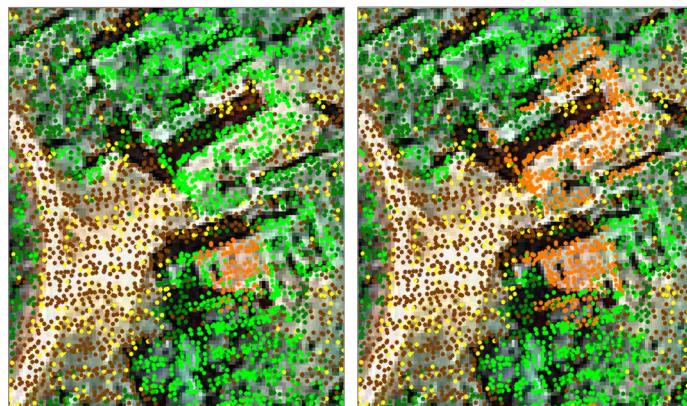


Figura 10

Arriba: Vista de perfil pared lateral izquierda de la edificación 01 - nube de puntos 2021 con clasificación automática tipo vegetación (color verde). **Abajo:** Vista de perfil pared lateral izquierda de la edificación 02 -nube de puntos 2021 con clasificación manual edificios (color naranja).

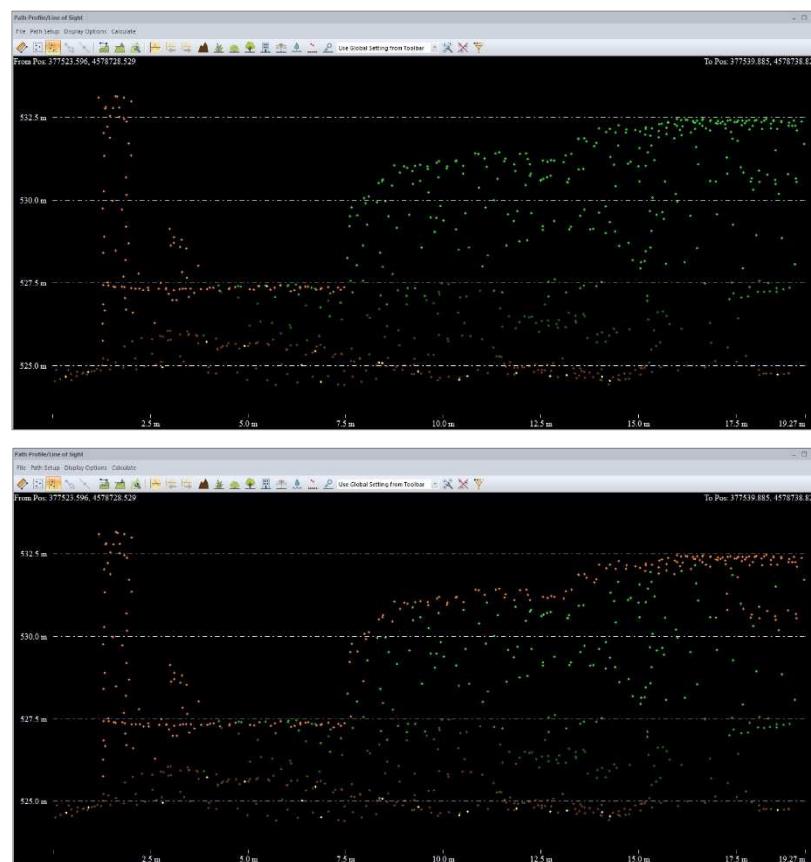


Figura 11

Ortofoto generada a partir del vuelo con dron. Vista de la pared lateral izquierda de la edificación 01, mostrado en el perfil de la figura 10.



- (c) **Generación del modelo digital de superficie (DSM) y modelo digital del terreno (DTM).** Para generar el DSM, es necesario haber concluido de la mejor manera posible la clasificación manual de los edificios, ya que el DSM se ha realizado tomando en cuenta únicamente las clases de edificios y terreno, descartando los puntos de la clase vegetación.
 - La consideración previa en esta etapa es tomar en cuenta la densidad de puntos por metro cuadrado de cada archivo LAS, por ello para crear los modelos ráster para los años 2008 y 2016, se definió una resolución de píxel con 2 metros de lado. En el caso del año 2021, se estableció una resolución de píxel con 50 centímetros de lado. Sin embargo, con la finalidad de realizar posteriormente el análisis de los cambios en las edificaciones, se precisa tener homogeneidad en la resolución espacial de las mallas ráster, por lo que también se generó un DSM del año 2021, con una resolución de píxel con 2 metros de lado.
 - Utilizando la herramienta *grid surface create* del módulo FUSION, operado desde el software Qgis, se creó el DSM considerando las clases: 2-Ground, 6-Buildings, 8-Model key points.
 - Utilizando la herramienta *tin surface create* del módulo FUSION, operado desde el software Qgis, se creó el DTM considerando las clases: 2-Ground y 8- Model key points.
 - La diferencia del DSM generado con los edificios y terreno, menos el DTM generado con el terreno (DSM-DTM), se realiza con la herramienta *raster calculator* del software Qgis, obteniendo un mapa de las alturas de los edificios sobre el terreno.
 - (c1) Aprovechando la mayor densidad de la nube de puntos del año 2021, se genera un DSM de edificios y terreno con píxel de 50 centímetros de lado, y este nos permitirá afinar la huella de las edificaciones, ajustando la forma de los polígonos vectoriales creados en la etapa de preparación de los datos.
 - Con la nube de puntos del año 2021, también se realizó un DSM incluyendo todas las clases, pues por ser la nube con mayor densidad se vió por conveniente resaltar la altura de todas las superficies, así sean de masa vegetal, pues podría ayudar a delimitar mejor las formas y/o huellas de las edificaciones que no se han clasificado manualmente.

- (d) Análisis de los cambios en las edificaciones
 - (d1) En esta etapa, para analizar los cambios en la altura de las edificaciones, se planteó una diferencia entre modelos digitales de superficie, haciendo uso de la herramienta *raster calculator* del software Qgis, tal como se señala a continuación: DSM 2021– DSM 2008, y DSM 2016– DSM 2008.
 - (d2) Una vez obtenido el ráster con la diferencia de DSM, se procede a realizar un recorte con la capa vectorial de polígonos de las edificaciones digitalizadas manualmente en la etapa de preparación de los datos y afinada con el DSM del año 2021 con píxel de 50 centímetros de lado.
 - (d3) El ráster obtenido con la diferencia de DSM se convierte a vector de geometría punto, con la herramienta *raster pixels to points* del software Qgis. Este algoritmo convierte una capa ráster en una capa vectorial, creando objetos punto para cada centro de píxel en la capa ráster.
 - (d4) De la capa vectorial de puntos obtenida a partir de los píxeles del ráster con las diferencias altura, en la tabla atributiva se procede a analizar los valores negativos obtenidos por cada edificación de la muestra, pues ello supone la pérdida de altura en la edificación.
 - (d5) Se obtiene estadísticas como la media de alturas perdidas, y la máxima altura perdida, en cada edificación. En esta etapa, los valores negativos resultantes en la malla ráster obtenida son los de mayor interés para el análisis, pues ellos indican la pérdida de altura en las edificaciones, respecto al año más antiguo. Asimismo, como es lógico, los valores positivos en este caso no significarían aumento de altura a causa de nuevas construcciones, sino más bien están relacionados a las diferentes densidades que maneja cada nube de puntos, y que pueden no haber captado en determinado año una parte construida de la edificación. También implica que incluso en la etapa de la clasificación manual, no se pudieron detectar estructuras edificadas sin confundirlas con masa vegetal. Tal es así, que con la escasa densidad de puntos en la nube correspondiente al año 2016, no se proyectó obtener resultados favorables o de utilidad para el estudio.

Metodología de trabajo con datos de sensor LiDAR terrestre (TLS)

- (a) Relevamiento de datos LiDAR (TLS). Se relevaron en campo los dos edificios definidos como muestra para el desarrollo de la metodología. El tiempo empleado fue de aproximadamente 3 horas. Al respecto, se empleó un sensor LiDAR terrestre del tipo estático, asentado sobre un trípode. Este sensor mide la superficie directamente visible (a vista de observador). El equipo utilizado es un BLK360 G1 de Leica Geosystems (Figura 12), que es un escáner 3D con un sistema de imágenes esféricas integradas y un sensor térmico integrado, el escáner se puede controlar de manera remota mediante comunicación inalámbrica con un Apple iPad, y presenta una longitud de onda de 830 nm, un campo de visión 360° (horizontal) / 300° (vertical), una distancia de alcance min. 0.6 metros – máx. 60 metros, una precisión de alcance de 4mm a 10 metros y 7mm a 20 metros, y una velocidad de medición menor a tres minutos por estación de escaneo completa.

Figura 12

Escáner BLK360 G1 de Leica Geosystems.



Fuente: Leica Geosystems.

El relevamiento completo requiere de varias estaciones de registro, las cuales se pueden ir alineando de forma automática en el Apple iPad utilizando el aplicativo Cyclone FIELD 360. Al respecto, se utilizaron 22 estaciones, 12 de ellas para el edificio 01, y 10 estaciones para el edificio 02 (Figura 13). No obstante, al ser edificaciones adyacentes finalmente se decidió unificar todas las estaciones en un solo conjunto, para obtener una sola nube de puntos. En cada escaneo se configuro una resolución de densidad media. Es importante resaltar que, durante el trabajo de campo, no se utilizaron objetos de referencia artificiales (dianas), los cuales suelen ser altamente útiles en la etapa de registro y georeferenciación.

Figura 13

Fotografías durante labores de campo en el pueblo Marmellar de Montmell. Vista de las estaciones de escaneo.



- **(b) Procesamiento de datos LiDAR (TLS)**
 - (b1) Para procesar los datos LiDAR TLS, se utilizó el software genérico del escáner utilizado en campo, el cual es Cyclone REGISTER 360 de Leica Geosystems. El escáner láser almacena los datos en el mismo dispositivo, y se pueden transferir al equipo de cómputo mediante conexión inalámbrica. Así como también, se pueden transferir mediante la Apple iPad desde el aplicativo Cyclone FIELD 360.
 - (b2) En la figura 14, se muestra una alineación aproximada de los escaneos. No obstante, se debe mencionar una particularidad, y es que en este trabajo se perdió la alineación y optimización previa que se realizó en el Apple iPad con el aplicativo Cyclone FIELD 360 durante las labores de campo; lo cual motivó a realizar el registro en gabinete con la opción de Alineación visual usando el método de nube a nube que nos ofrece el software Cyclone REGISTER 360. Cabe resaltar, que esta pérdida de alineación y optimización que realiza el aplicativo durante las labores de campo, puede darse a causa del terreno desnivelado.
 - (b2) La alineación visual de nube a nube, tiene como objetivo el empate de los diferentes escaneos, logrando una optimización de conjunto. Para el presente estudio, y considerando que no hemos utilizado objetos de referencia (dianas) en campo, se ha establecido como máximo un error medio de conjunto de 15 mm.

Figura 14

Vista de las estaciones de escaneo, en el software Cyclone REGISTER 360.



- (b3) Limpieza y depuración de la nube de puntos. En el software Cyclone REGISTER 360, se realizó una limpieza de ruido en la nube, además del retirar objetos en movimiento tales como personas (Figura 15).

Figura 15

Depuración de objetos en movimiento con el Cyclone REGISTER 360. Arriba: Antes de la depuración. Abajo: Despues de la depuración.

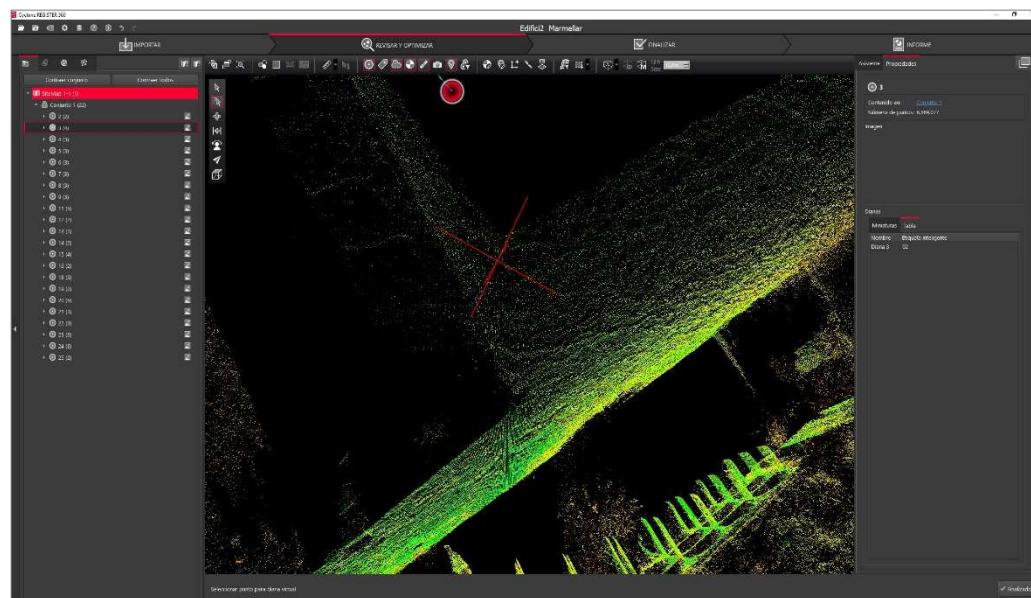


- (b4) Posteriormente, se realizó el proceso de georeferenciación. Sin embargo, al no tener dianas registradas en campo, ni haber utilizado un gps diferencial o estación total para referenciar los datos en un sistema externo, local o global; se optó por extraer los valores de coordenadas (x,y,z) de objetos naturales (puntos de esquina en las estructuras, y otros elementos identificables) ubicados en la nube de puntos proveniente del sensor LiDAR ALS (ETRS89- UTM Zona 31N/ EPSG: 25831), y utilizando la herramienta virtual target del Cyclone REGISTER 360 se fueron insertando las dianas virtuales (Figura 16) en cada estación de escaneo, respetando el nombre exacto determinado para cada punto de coordenadas. Una vez ingresadas todas las dianas virtuales, se aplican los puntos de control a la nube. Al respecto, el software Cyclone REGISTER 360 es capaz de georeferenciar una nube, con tres puntos de coordenadas que se encuentren por debajo del valor de error medio

definido de acuerdo con las condiciones de trabajo. En este caso, por las condiciones ya mencionadas, sin un equipo de posicionamiento global en campo, se ha definido como máximo 10 centímetros como error medio para la georeferenciación.

Figura 16

Proceso de inserción de las dianas virtuales para la georeferenciación.



- (b5) En cada etapa del proceso, el software Cyclone REGISTER 360 va mostrando los parámetros estadísticos y la calidad con la que se alinean los escaneos, así como también el error medio obtenido en la georeferenciación. De no estar conforme con la calidad de los productos obtenidos, se puede volver a desarrollar el procedimiento, realizando los ajustes necesarios. Al finalizar, el software integra y emite un informe detallado de calidad. Luego, con la opción de publicar, y si se desea, se puede reducir la densidad de puntos y exportar la nube a distintos formatos, incluyendo el LAS. Es importante señalar que, para este estudio y con la finalidad de poder manejar la nube de puntos del LiDAR TLS en otros softwares y equipos de cómputo, se realizó al final de todo el proceso una reducción de la nube de puntos, obteniendo una nube de 20 000 000 de puntos lo cual se consideró suficiente para la finalidad del estudio, frente a los 151 992 666 millones de puntos iniciales.

(c) **Análisis visual comparativo entre ambas nubes de puntos LiDAR (ALS y TLS).** Una vez obtenida la georeferenciación de la nube de puntos del LiDAR terrestre. En el software Cyclone 3DR, o en el software Global Mapper, se cargan las nubes de puntos del LiDAR aerotransportado y el LiDAR terrestre, y se analiza visualmente cómo se complementan, además se definen los aportes de cada uno en el análisis de las edificaciones, así como también se generan distintos perfiles que permitirán apreciar las diferencias en el detalle obtenido.

7. RESULTADOS

Los resultados han sido obtenidos aplicando la metodología señalada en el apartado anterior, y se detallan a continuación de acuerdo con las partes expuestas en el mismo.

Accesibilidad vial

Ante todo, hay que precisar que estos resultados han sido obtenidos considerando el desplazamiento en automóvil, una velocidad diferente según el tipo de vía, y calculando un solo destino por origen, el cual es accesible en el menor tiempo de desplazamiento.

Como resultado del análisis de la red vial, en la comarca de Noguera, para desplazarse desde los núcleos poblacionales abandonados hacia una capital comarcal, la media correspondiente al tiempo de desplazamiento son 32 minutos. Asimismo, para desplazarse hacia una capital municipal, son unos 12 minutos en promedio, mientras que hacia un hospital son 46, y con dirección a un Centro de Asistencia Primaria (CAP) son 11 minutos (Tabla 3).

Tabla 3

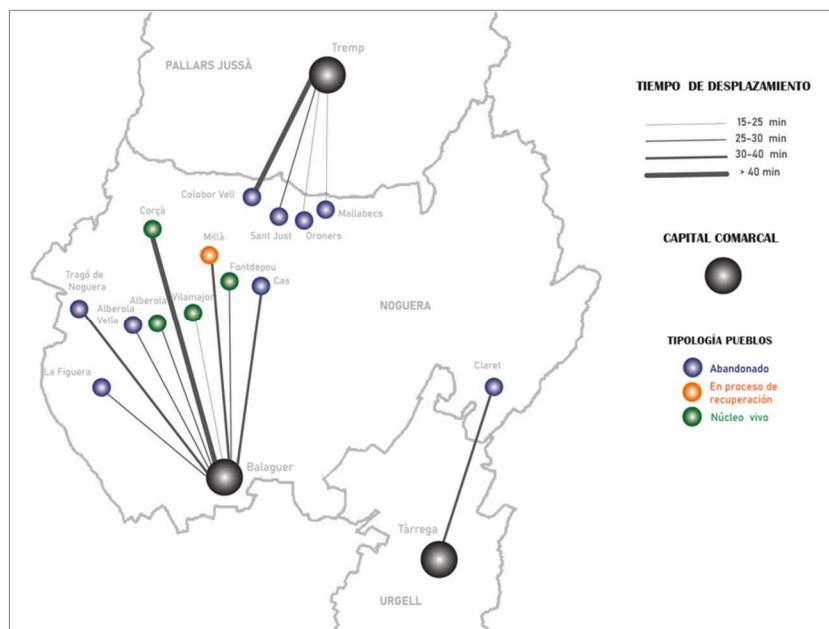
Costo temporal de desplazamiento. Pueblos abandonados de Noguera.

Noguera	Capital comarcal	Capital municipal	Hospital	CAP
Pueblo abandonado	Tiempo (min)	Tiempo (min)	Tiempo (min)	Tiempo (min)
La Figuera	27	8	40	8
Claret	38	5	80	13
Alberola Vella	29	12	57	10
Alberola	26	10	54	9
Vilamajor	21	4	47	4
Tragó de Noguera	38	22	73	20
Fontdepou	26	12	42	12
Cas	34	14	37	14
Oroners	23	12	23	12
Sant Just	27	9	26	9
Millà	40	7	36	3
Mallabecs	17	12	17	12
Corçà	43	14	44	6
Colobor Vell	62	23	61	26
Tiempo promedio (min)	32	12	46	11

Por otro lado, tal como muestra la figura 17 teniendo en cuenta el destino más accesible con el menor tiempo de desplazamiento, de los catorce (14) pueblos abandonados que pertenecen a la comarca de Noguera, sólo nueve (09) de ellos se conecta a su propia capital comarcal. Otros cuatro (04) pueblos abandonados se conectan a la capital de la comarca de Pallars Jussá , y uno (01) de ellos se conecta a la capital comarcal de Urgell.

Figura 17

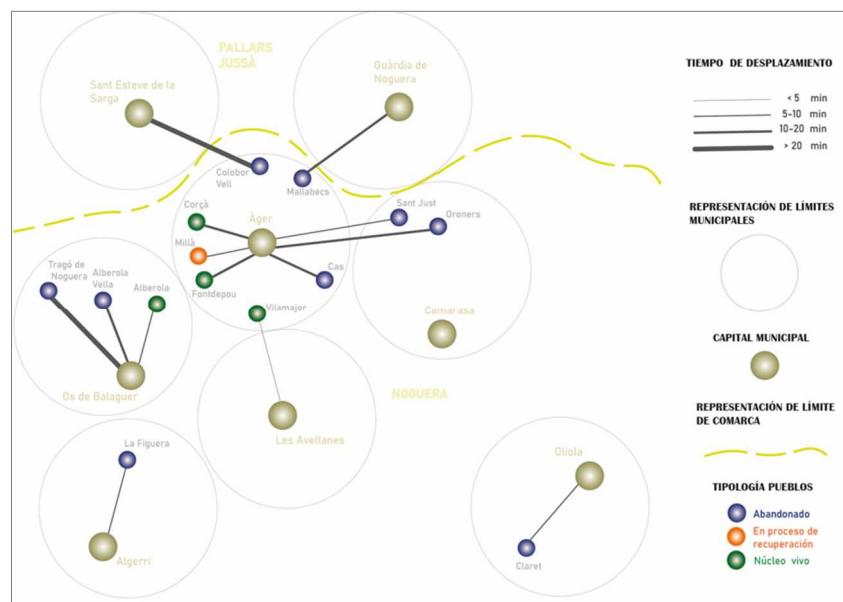
Noguera: Accesibilidad a la capital comarcal. Tiempo de desplazamiento en intervalos de minutos.



En la comarca de Noguera, cuando se analiza la accesibilidad a las capitales de municipios, al parecer la capital que les corresponde a algunos pueblos abandonados, no es la mejor opción geográfica en términos de accesibilidad vial. Tal es así, que cinco pueblos (05) se conectan a la capital de otro municipio, de los cuales dos (02) de ellos, inclusive pertenecen a otra comarca, tal como lo muestra la figura 18.

Figura 18

Noguera: Accesibilidad a la capital municipal. Tiempo de desplazamiento en intervalos de minutos.



En la comarca de Segarra, para desplazarse desde los núcleos poblacionales abandonados hacia una capital comarcal, la media correspondiente al tiempo de desplazamiento son 13 minutos. Asimismo, para desplazarse hacia una capital municipal y un Centro de Asistencia Primaria (CAP) son unos 5 minutos, mientras que son 37 para ir a un hospital (Tabla 4).

Tabla 4

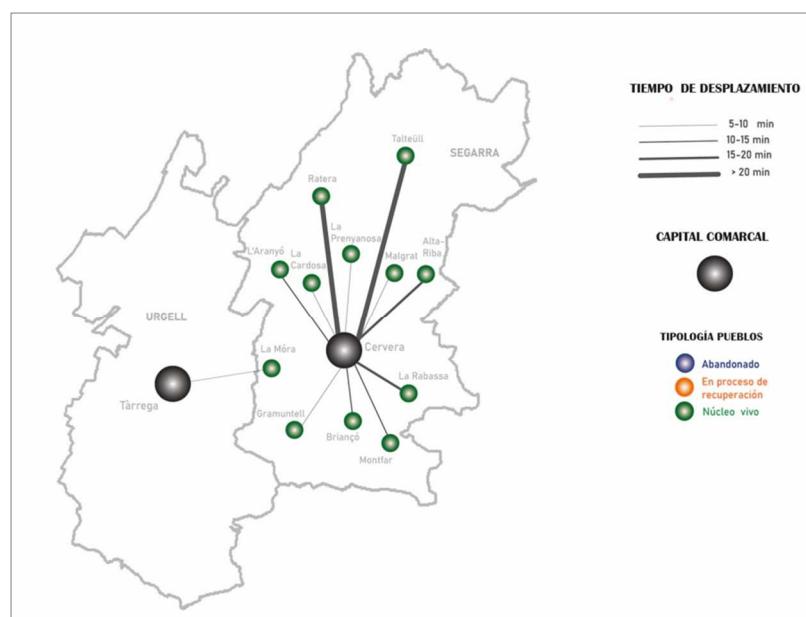
Costo temporal de desplazamiento. Pueblos abandonados de Segarra.

Segarra	Capital comarcal	Capital municipal	Hospital	CAP
Pueblo abandonado	Tiempo (min)	Tiempo (min)	Tiempo (min)	Tiempo (min)
Montfar	12	4	22	9
Gramuntell	9	2	31	2
Briançó	11	2	20	6
La Rabassa	19	6	29	7
La Móra	6	7	39	3
La Cardosa	9	9	32	9
L'Aranyó	10	12	31	7
Malgrat	9	5	40	2
Alta-Riba	16	4	36	4
La Prenyanosa	10	6	43	4
Ratera	21	3	53	3
Talteüll	24	4	64	4
Tiempo promedio (min)	13	5	37	5

Considerando también el destino con el menor tiempo de desplazamiento, de los doce (12) pueblos abandonados que pertenecen a Segarra, once (11) están conectados a su capital comarcal, mientras que uno (1) se conecta con la capital de la comarca de Urgell (Figura 19).

Figura 19

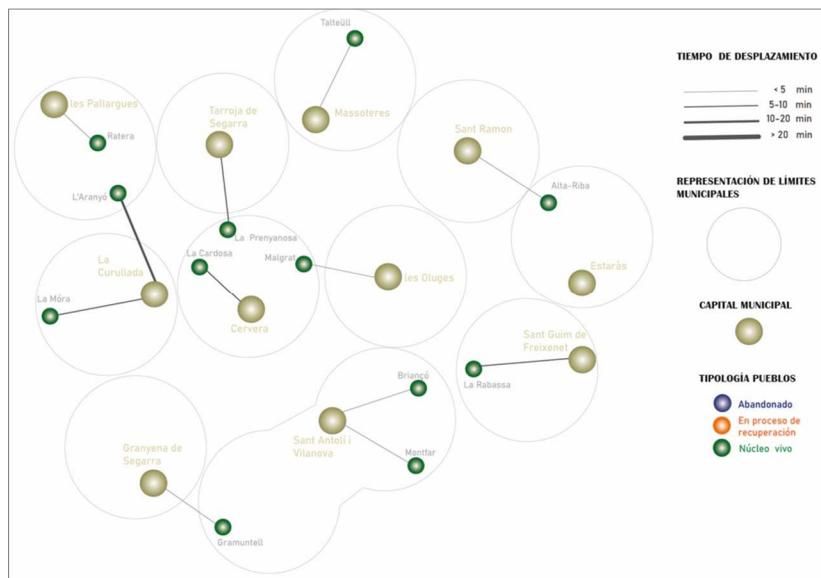
Segarra: Accesibilidad a la capital comarcal. Tiempo de desplazamiento en intervalos de minutos.



En cuanto al acceso a las capitales de municipio, en la comarca de Segarra existen cinco (05) pueblos abandonados que acceden en menor tiempo de desplazamiento a la capital de un municipio que no les corresponde por ubicación geográfica (Figura 20).

Figura 20

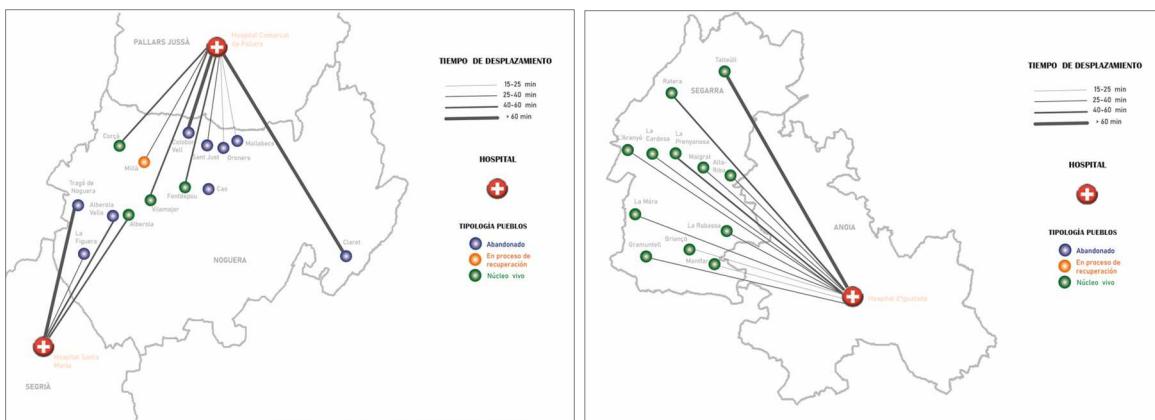
Segarra: Accesibilidad a la capital municipal. Tiempo de desplazamiento en intervalos de minutos.



En relación con ambas comarcas, Noguera y Segarra, para ir desde los pueblos abandonados con destino a un hospital hay que salir de la propia comarca. Cabe mencionar, que no hay ningún equipamiento de este tipo dentro de ellas (Figura 21).

Figura 21

Accesibilidad a los hospitales. Tiempo de desplazamiento clasificado por intervalos de minutos. Izquierda: Noguera. Derecha: Segarra.



Para acceder a la primera línea de atención en salud como son los CAP (Centros de Atención Primaria), desplazándose en automóvil desde los pueblos abandonados de Noguera y Segarra,

en muchos de los casos hay que salir de la división administrativa municipal respectiva, tal como muestra las figuras 22 y 23.

Figura 22

Accesibilidad a un Centro de Atención Primaria (CAP) en la comarca de Noguera. Tiempo de desplazamiento clasificado por intervalos de minutos.

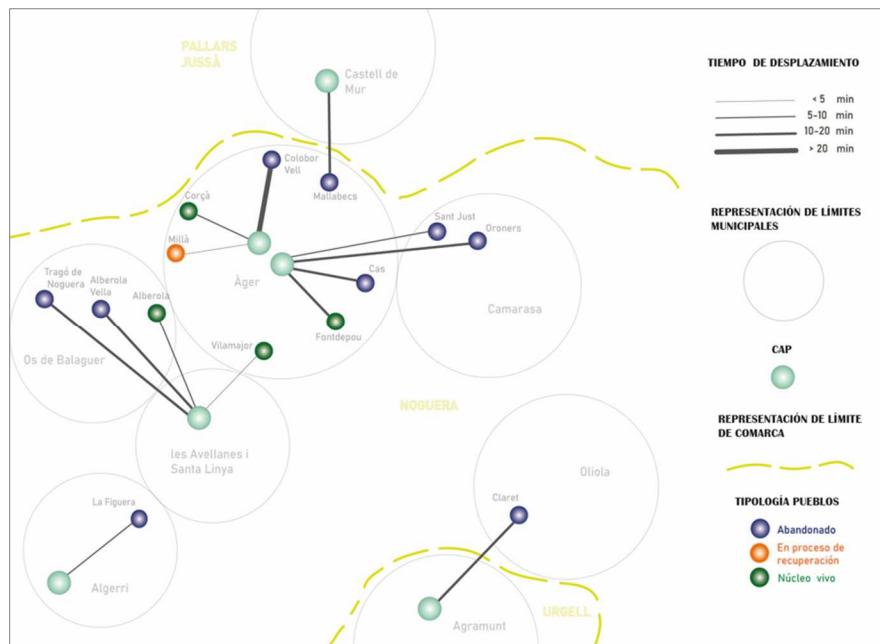


Figura 23

Accesibilidad a un Centro de Atención Primaria (CAP) en la comarca de Segarra. Tiempo de desplazamiento clasificado por intervalos de minutos.



El costo temporal de desplazamiento desde los pueblos abandonados hacia los puntos de interés territorial señalados en esta parte del estudio, es diferente entre los pueblos de Noguera y los de Segarra, siendo esta última la que cuenta con una mejor accesibilidad en tiempo hacia los cuatro destinos definidos, y además casi todos sus núcleos poblacionales abandonados tienen una buena accesibilidad a su propia capital comarcal. No obstante, en el caso de accesibilidad a las capitales municipales, ambas comarcas tienen una buena parte de pueblos abandonados que no obtienen como destino más accesible a la capital municipal que les corresponde por ubicación geográfica.

Cambios en las cubiertas del suelo

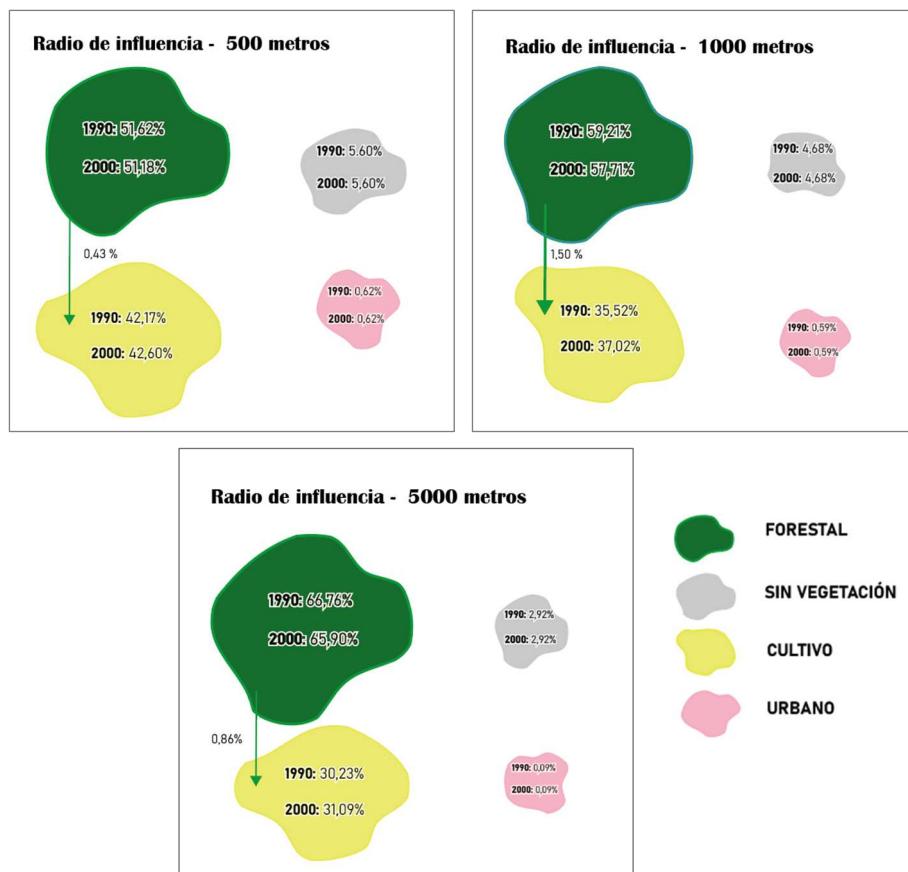
Los resultados del análisis de los cambios en las cubiertas del suelo se han obtenido de manera separada en cada comarca, para cada fuente de información utilizada (CLC y SIOSE), y por cada radio de influencia descrito en la metodología.

Resultados con CORINE Land Cover (CLC)

La figura 24 y figura 25, muestran el porcentaje de cubierta forestal, de zonas sin vegetación, de cultivos y de zonas urbanas de los años 1990 y 2000 del CORINE Land Cover (CLC), en las comarcas de Noguera y Segarra, respectivamente.

Figura 24

Noguera. Porcentaje de las cubiertas de suelo, y los cambios de 1990 al 2000. CORINE Land Cover (CLC).

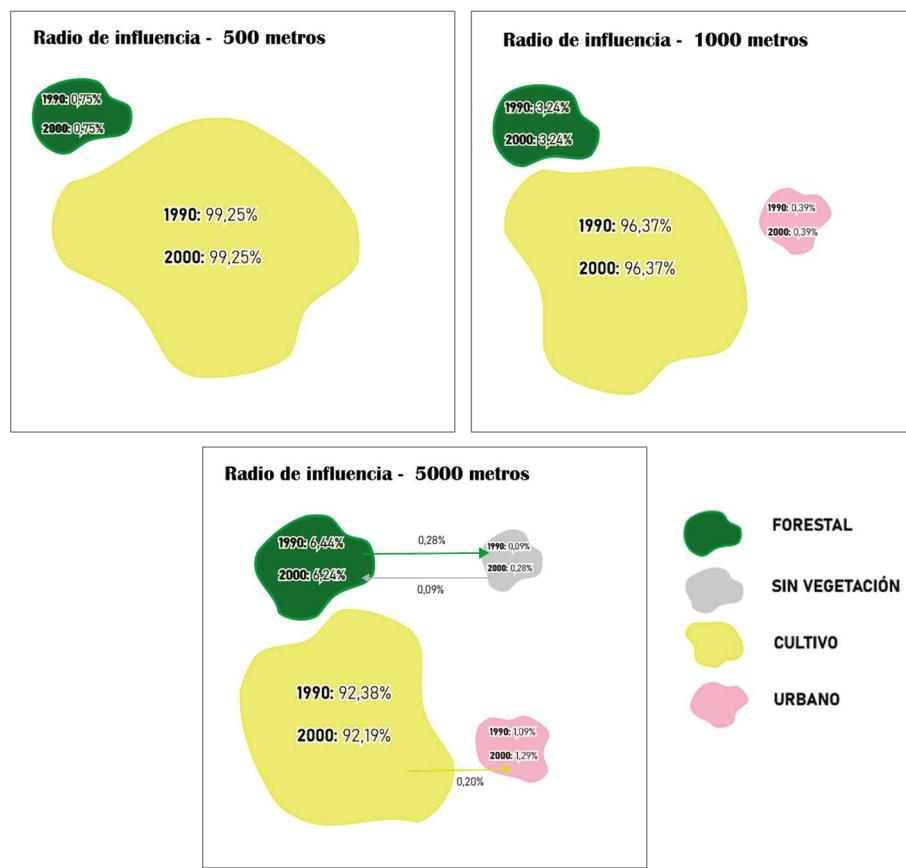


Según los resultados obtenidos en base al análisis espacial de las cubiertas del suelo con el CLC, en la comarca de Noguera la cubierta forestal ocupa el mayor porcentaje de acuerdo con su superficie. Si bien es cierto, la superficie forestal aumenta a medida que aumenta el radio de influencia, dicha cubierta es la que presenta leves cambios del año 1990 al 2000, puesto que pierde cobertura forestal en las áreas ocupadas por sus tres radios de influencia. Por ejemplo, en el área ocupada por el radio de influencia de 1000 metros, pierde 1.50 % de cubierta forestal lo cual pasa a ser zona de cultivo (Figura 24).

Un panorama distinto al de Noguera ocurre en la comarca de Segarra, ya que la cubierta que ocupa mayor superficie es la de cultivo. Aun cuando la superficie de zona de cultivo va disminuyendo conforme aumenta el radio de influencia, si se compara los valores del año 1990 con el año 2000 la superficie se mantiene, a excepción del radio de 5000 metros donde pierde un 0.19% (Figura 25).

Figura 25

Segarra. Porcentaje de las cubiertas de suelo, y los cambios de 1990 al 2000. CORINE Land Cover (CLC).



En síntesis, en la comarca de Noguera predomina la cubierta de tipo forestal, mientras que en la de Segarra predomina la de tipo cultivo. En ambas comarcas se puede apreciar que el patrón de cubierta de suelo predominante se mantiene en sus tres radios de influencia. Asimismo, el principal cambio de cubierta se detecta en el radio de influencia de 1000 metros en la comarca de Noguera, donde 1.50% pasa de ser cubierta forestal a ser cultivo. A modo general, comparando el año 1990 con el año 2000, los cambios cuantificados en porcentaje son realmente bajos y/o poco significativos.

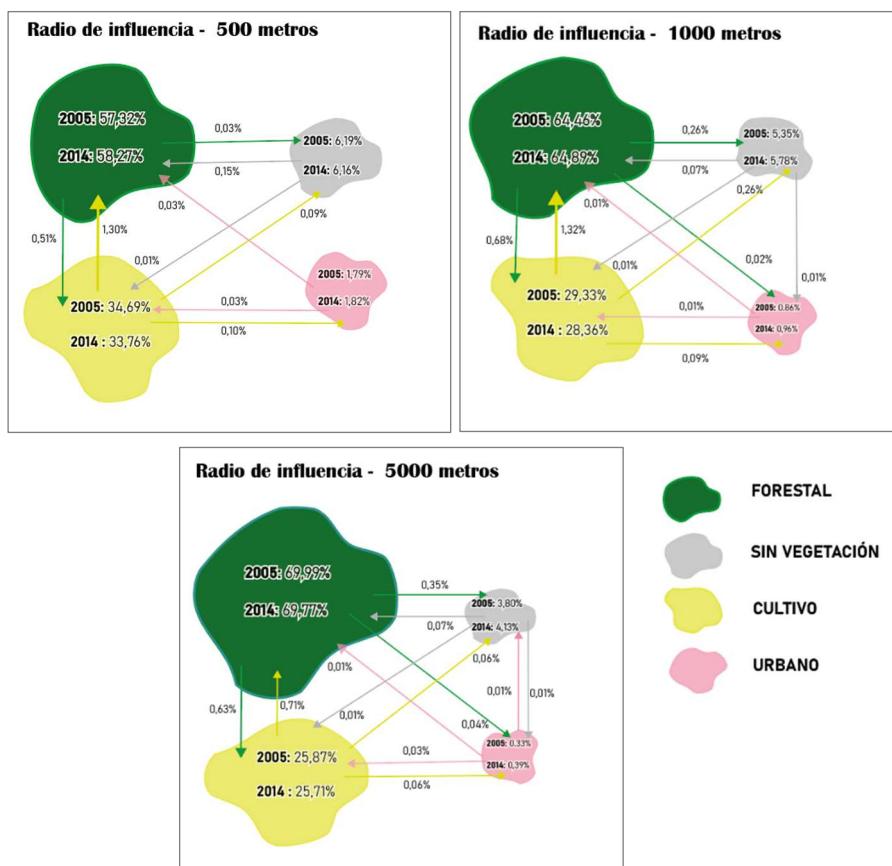
Resultados con el Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE)

Las figuras 26 y 27, muestran el porcentaje de la cubierta forestal, de zonas sin vegetación, de cultivos y de zonas urbanas para los años 2005 y 2014 del Sistema de Información de Ocupación del Suelo de España (SIOSE), en las comarcas de Noguera y Segarra, respectivamente.

Los resultados obtenidos utilizando como fuente de datos el SIOSE, muestran que en la comarca de Noguera la cubierta forestal es la que ocupa el mayor porcentaje, y esta va aumentando a medida que incrementa el radio de influencia. Asimismo, comparando el año 2005 con el 2014 en Noguera, la variación (el aumento o disminución) de superficie en todas las cubiertas de suelo, son menores al 1% (Figura 26).

Figura 26

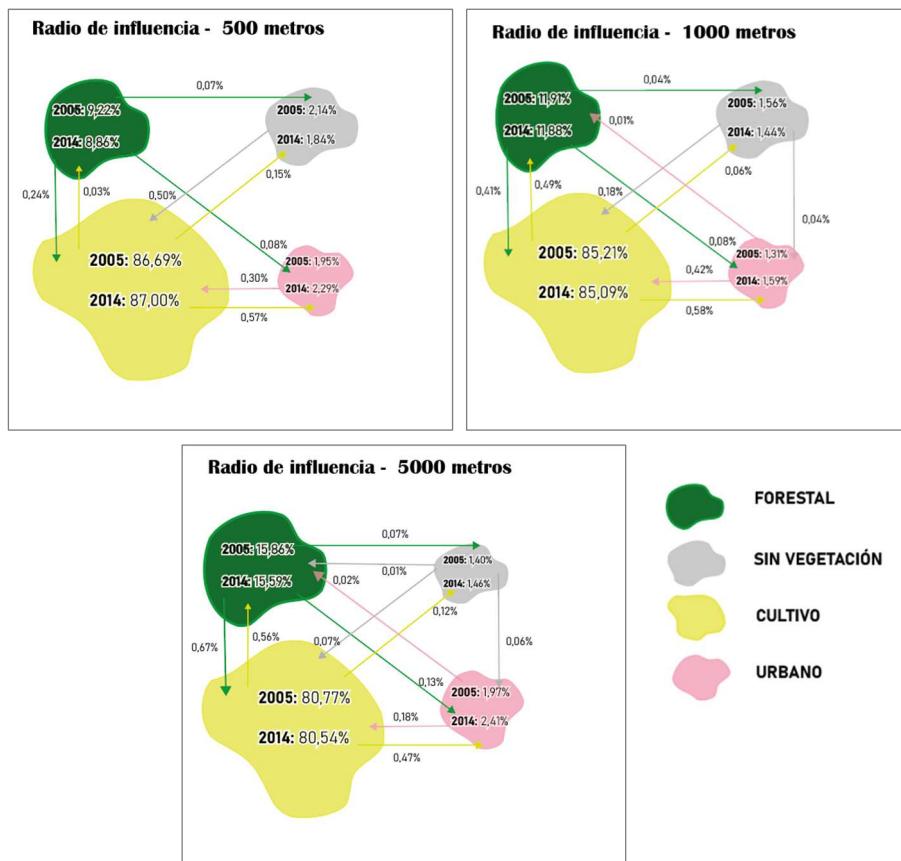
Noguera. Porcentaje de las cubiertas de suelo, y los cambios de 2005 al 2014. Sistema de Información y Ocupación del Suelo de España (SIOSE).



Por otro lado, tal como muestra la figura 27 en la comarca de Segarra, la cubierta de suelo que ocupa mayor porcentaje es la de cultivo, y se observa una disminución al aumentar el radio de influencia. En cuanto a los cambios, si comparamos el año 2005 con el 2014 en Segarra, la variación (el aumento o disminución) en todas las cubiertas de suelo, no pasa del 0,5 %.

Figura 27

Segarra. Porcentaje de las cubiertas de suelo, y los cambios de 2005 al 2014. Sistema de Información y Ocupación del Suelo de España (SIOSE).



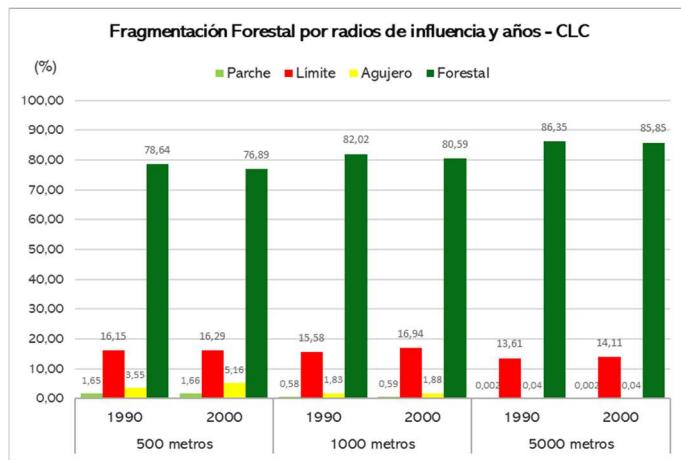
En definitiva, en la comarca de Noguera predomina la cubierta de tipo forestal, mientras que en la de Segarra predomina la de tipo cultivo. En ambas comarcas se puede apreciar que el patrón de cubierta de suelo predominante se mantiene en sus tres radios de influencia, sólo que en Noguera aumenta y en Segarra disminuye. Asimismo, aun cuando con el SIOSE se han detectado múltiples permutes de porcentaje entre las cubiertas finalmente comparando el porcentaje del año 2005 con el porcentaje del año 2014 en cada cubierta, estos cambios no resultan significativos o relevantes ya que las variaciones no superan el 1% en Noguera y el 0.5% en Segarra.

Cambios en la fragmentación forestal

En la comarca de Noguera, comparando el año 1990 con el año 2000 del CLC, tal como lo muestra la figura 28, la fragmentación forestal presenta un aumento leve en todas las áreas de influencia, y principalmente alrededor de 1.7% en un radio de 500 metros desde los pueblos abandonados. Sin embargo, aun cuando esto sucede, la clasificación forestal se presenta con unos valores mayores al 70%, por lo que realmente los ligeros aumentos en la fragmentación no tienen mayor impacto.

Figura 28

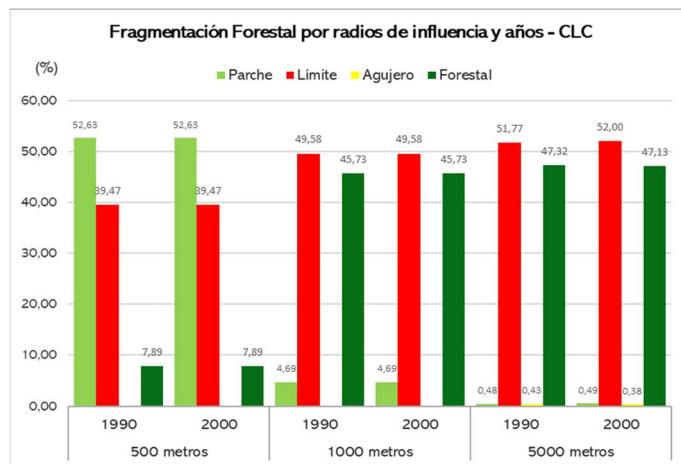
Noguera. Resultados de la fragmentación forestal por radios de influencia y años analizados con el CORINE Land Cover (CLC)



En la comarca de Segarra, al comparar el año 1990 con el año 2000 del CLC, tal como se aprecia en la figura 29, no hay cambios realmente notables en la fragmentación forestal. Además, un detalle resaltante es que, en un radio de 500 metros desde los pueblos, prepondera la clasificación de parche, lo cual quiere decir que hay gran cantidad de pequeños fragmentos de bosque concentrados en esta área. Dicha situación es diferente en los radios de influencia de 1000 metros y 5000 metros donde hay un importante porcentaje de clasificación forestal como resultado del análisis de la fragmentación, pero sin mayor cambio durante los años comparados.

Figura 29

Segarra. Resultados de la fragmentación forestal por radios de influencia y años analizados, con el CORINE Land Cover (CLC)

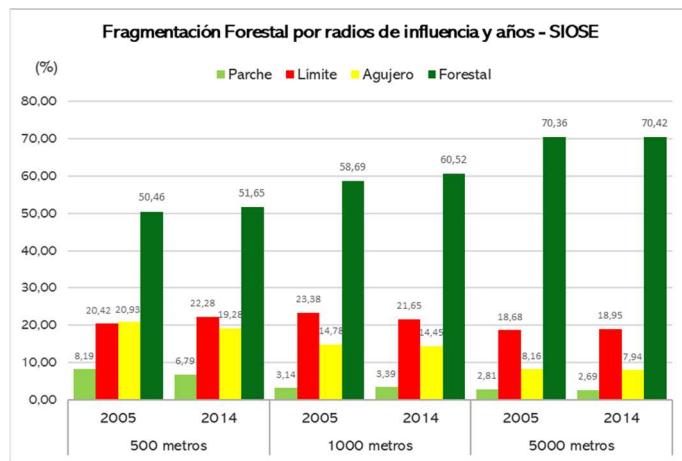


Por otro lado, en la comarca de Noguera al emplear en el análisis la fuente de datos del SIOSE y comparando el año 2005 con el año 2014 (Figura 30), la fragmentación forestal disminuye levemente en todos los radios de influencia, por lo tanto, hay un ligero aumento de la continuidad forestal. Asimismo, se puede apreciar en la figura 30 que la mayor superficie de

clasificación forestal como resultado del análisis de la fragmentación, se da en un radio de influencia de 5000 metros, con un valor superior al 70%.

Figura 30

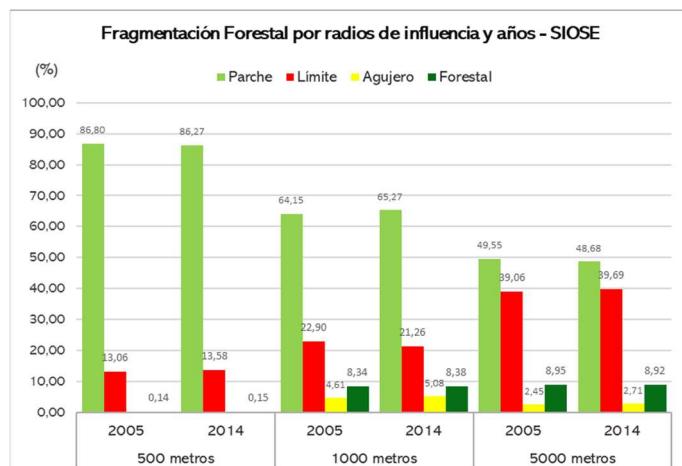
Noguera. Resultados de la fragmentación forestal por radios de influencia y años analizados, con el Sistema de Información y Ocupación del Suelo de España (SIOSE).



En la comarca de Segarra, tal como muestra la figura 31, como resultado del análisis de fragmentación forestal con el SIOSE, la clasificación de parche es la más importante porcentualmente en todos los radios de influencia, lo cual podría explicarse por tener una cubierta de suelo predominantemente de cultivo. Cabe resaltar, que los parches son captados debido a la mayor resolución espacial del SIOSE en comparación al CLC. En tal sentido, se entiende que existe gran cantidad de pequeñas regiones forestales inmersas en amplias zonas dedicadas al cultivo, y que tales regiones no llegan al tamaño definido en la metodología del análisis de fragmentación para ser consideradas en la clasificación forestal. Además, se concluye que los casi inapreciables cambios que existe en la fragmentación forestal tal como se muestra en los radios de influencia de 1000 y 5000 metros, son aún más irrelevantes en un territorio predominantemente de cultivo.

Figura 31

Segarra. Resultados de la fragmentación forestal por radios de influencia y años analizados, con el Sistema de Información y Ocupación del Suelo de España (SIOSE).



En síntesis, en cuanto a los cambios acontecidos en la fragmentación, se concluye que los resultados obtenidos con el CLC en la comarca de Noguera indican un aumento de la fragmentación forestal, pero en porcentajes muy bajos, menores al 2%, en todos los radios de influencia. Asimismo, en Segarra con el CLC, no existe cambios realmente notables en la fragmentación forestal. Por otro lado, los resultados obtenidos con el SIOSE para la comarca de Noguera indican un leve aumento de la continuidad forestal, aunque en porcentajes muy bajos, inferiores al 2% en todos los radios de influencia. Por último, en Segarra con el SIOSE los mínimos cambios que existen en la fragmentación forestal son ciertamente imperceptibles. No obstante, se resalta el gran porcentaje de la clasificación parche, dentro de un territorio predominantemente de cultivo.

Análisis de los cambios en las edificaciones

Resultados con los datos del sensor LiDAR aerotransportado

Mediante la clasificación manual, se logró editar los puntos de la clase 6- edificios en las dos edificaciones definidas para la muestra, y para todos los años disponibles (Figura 32). Al respecto, aun cuando se realizó este procedimiento, tal como muestra el ejemplo en la figura 33, los datos LiDAR del año 2008 y más aún los del 2016, son los de menos información que brindar para el análisis de cambios en las edificaciones, en comparación con los datos del 2021.

Figura 32

Clasificación manual de edificios, en color naranja.- Izquierda: Nube de puntos 2008. Centro: Nube de puntos 2016. Derecha: Nube de puntos 2021.

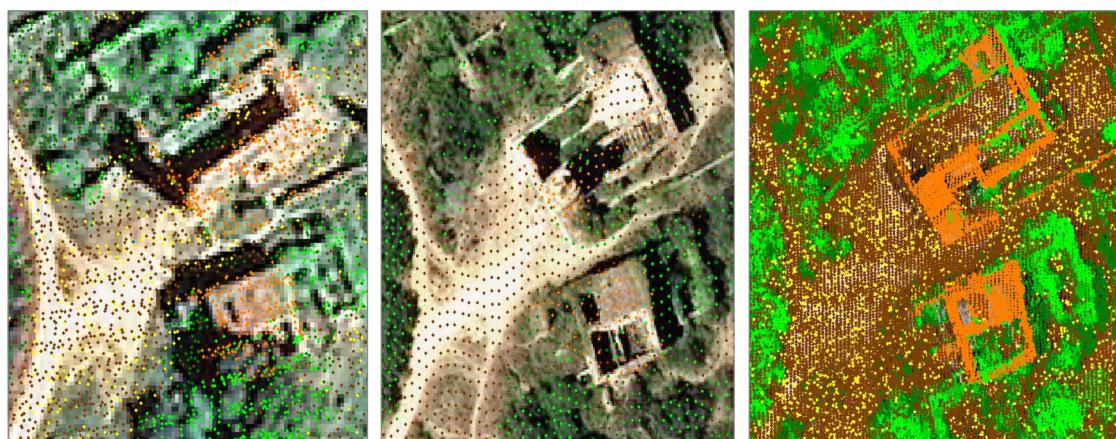
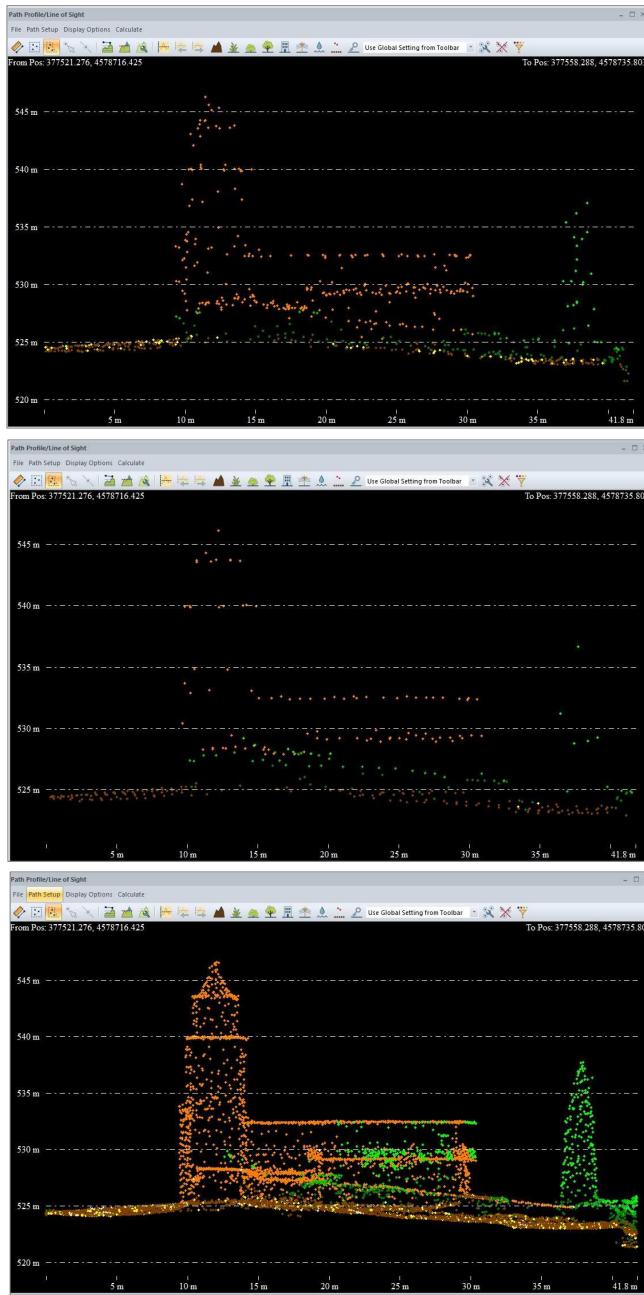


Figura 33

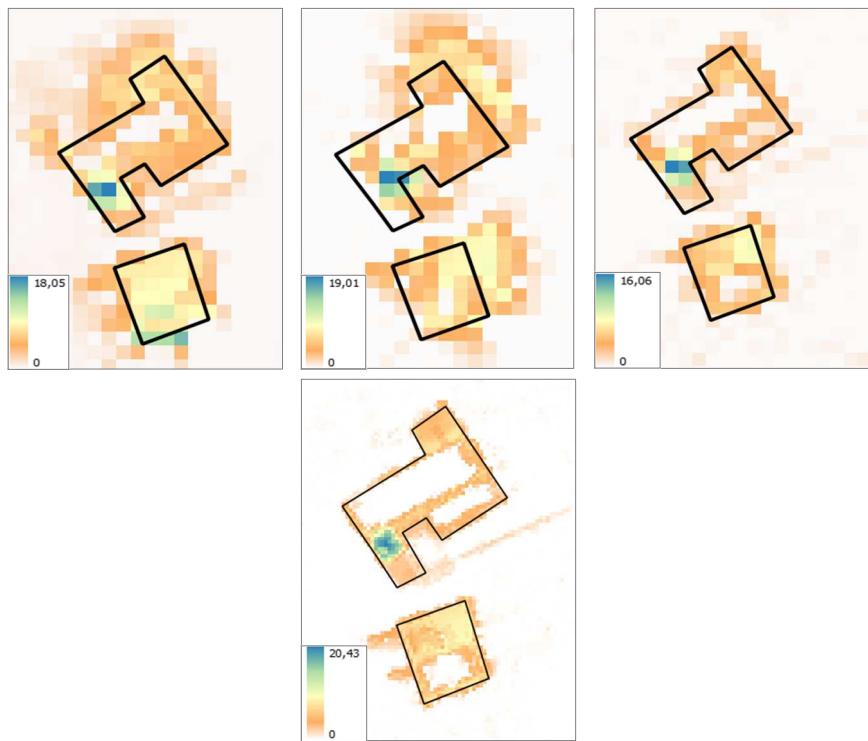
Vista de perfil en la edificación 01 (Iglesia) y en color naranja la clase 6 edificios – **Arriba:** Nube de puntos 2008. **Centro:** Nube de puntos 2016. **Abajo:** Nube de puntos 2021



Se obtuvieron los modelos digitales de superficie (DSM) con una resolución espacial de 2 metros para poder realizar el análisis de cambios entre los distintos años, teniendo una malla ráster homogénea. Asimismo, los DTM se restaron de sus respectivos DSM para obtener el ráster de alturas del edificio sobre el terreno (Figura 34). Con la nube de puntos del año 2021 además se obtuvo un DSM de 50 centímetros, el cual nos permitió afinar los polígonos vectoriales 2D de las edificaciones.

Figura 34

Ráster de alturas de las edificaciones (2m) – **Izquierda:** Alturas 2008. **Centro:** Alturas 2016. **Derecha:** Alturas 2021. **Abajo:** Ráster de alturas de las edificaciones (50cm) 2021.

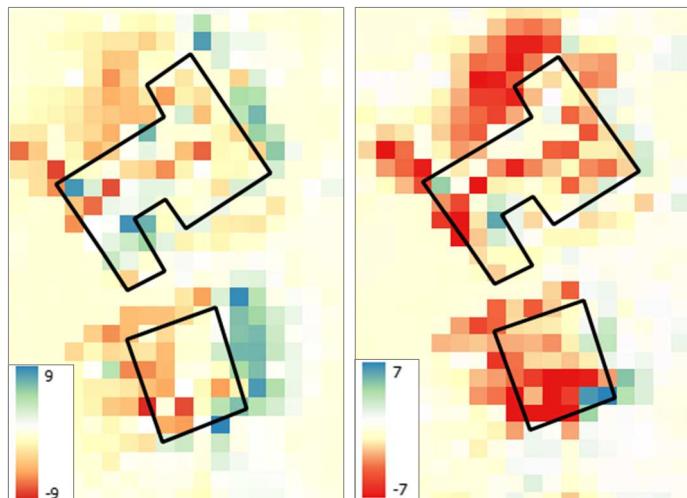


Se obtuvieron también los ráster resultantes, del DSM 2008 restado del DSM 2016, y del DSM 2008 restado del DSM 2021 (2m). Al respecto, en el segundo caso se muestra una gran presencia de valores negativos (Figura 35).

Figura 35

Ráster con las diferencias de DSM

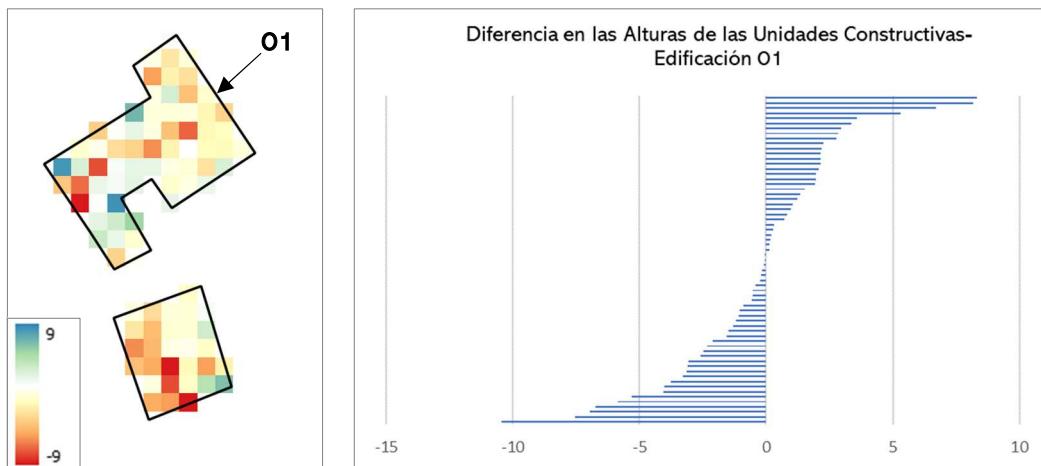
Izquierda: Dif. DSM 2016- DSM 2008. **Derecha:** Dif. DSM 2021 – DSM 2008



En el ráster con el resultado del DSM 2008 restado del DSM 2016, y recortado con el polígono de la edificación tal como se muestra en la figura 36, se aprecia en la edificación 01 una fuerte cantidad de valores positivos en la diferencia de alturas, lo cual implicaría que en el año 2016 se ha incrementado la altura de las construcciones, cosa que por supuesto no es real pues se trata de un pueblo en total abandono donde prácticamente sólo quedan edificaciones en ruinas. Esta situación denota poca validez de estos datos para su utilización.

Figura 36

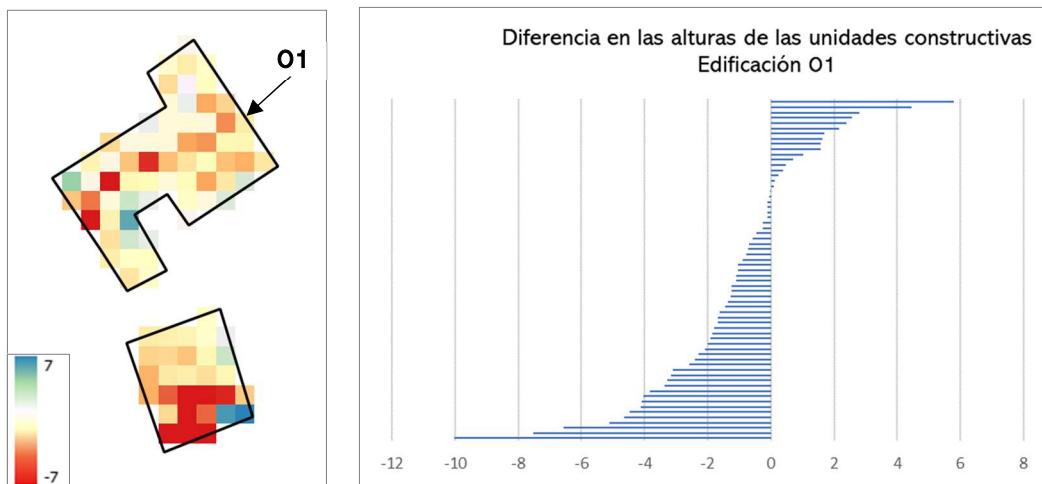
Izquierda: Recorte raster- Diferencia (DSM 2016- DSM 2008). Derecha: Gráfico de valores positivos y negativos del ráster con la diferencia (DSM 2016- DSM 2008)



Para realizar un ejemplo del análisis de cambios en las edificaciones, se debió escoger una fuente disponible del año más reciente y otra de un año antiguo. En ese sentido, por lo detallado en el párrafo anterior y por las características poco favorables en la densidad de puntos de la nube del año 2016; el análisis de cambios se realizó entre el año 2021 y el año 2008. Al respecto, en la figura 37 se aprecia que, en este caso, la cantidad de valores positivos en la edificación 01 es mucho menor a la anterior figura mostrada.

Figura 37

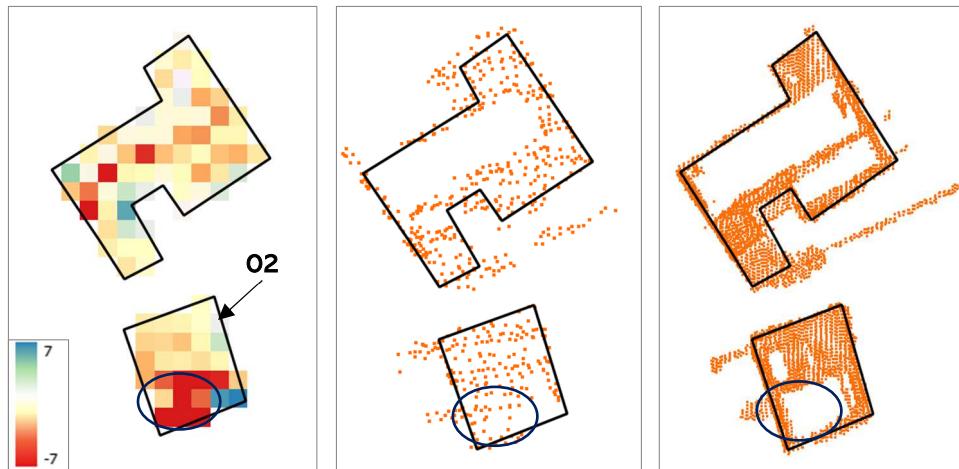
Izquierda: Recorte raster- Diferencia (DSM 2021- DSM 2008). Derecha: Gráfico de valores positivos y negativos del ráster con la Diferencia (DSM 2021- DSM 2008)



El enfoque se da en los valores negativos de las edificaciones, pues ello supone las pérdidas en cuanto a la altura, lo cual indicaría un colapso en alguna estructura de la edificación. Por ejemplo y como se puede apreciar en la figura 38 existe una concentración de valores negativos en la edificación 02, y es que parte del tejado que estaba en el año 2008, ya no se encuentra en el año 2021. Se observa entonces el cambio, pues se ha perdido aquella zona del tejado.

Figura 38

Izquierda: Recorte del raster Diferencia (DSM 2021- DSM 2008). Centro: Nube de puntos 2008 de la clase 6 edificios. Derecha: Nube de puntos 2021 de la clase 6 edificios.



Para el análisis de los cambios en las alturas de las edificaciones, se convirtieron los píxeles del rástre resultante con la diferencia (DSM 2021-DSM 2008) a una capa vectorial del tipo punto tal como se aprecia en la figura 39. Al respecto, se realizó un análisis de los valores obtenidos en la tabla de atributos, tomando en cuenta todos los valores negativos (tabla 5) con excepción de los valores negativos de 10 centímetros en adelante. En ese sentido, se calculó la media de alturas perdidas y la máxima altura perdida en cada edificación.

Figura 39

Izquierda: Capa vectorial puntos a partir de los píxeles del raster (DSM 2021- DSM 2008). Derecha: Capa vectorial de los puntos con valores negativos, resaltados en color amarillo (DSM 2021- DSM 2008).

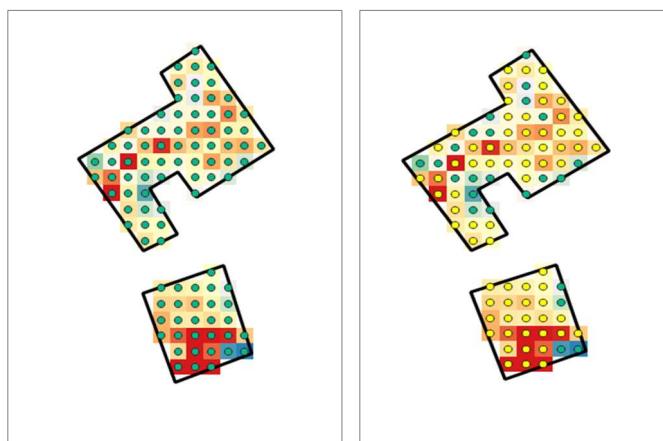


Tabla 5

Izquierda: Tabla de valores negativos en la edificación O1. Derecha: Tabla de valores negativos en la edificación O2

EDIFICACIÓN	VALUE	EDIFICACIÓN	VALUE
O1	-10,04	O2	-10,62
O1	-7,53	O2	-10,46
O1	-6,56	O2	-7,86
O1	-5,12	O2	-7,62
O1	-4,65	O2	-7,56
O1	-4,48	O2	-7,00
O1	-4,11	O2	-6,75
O1	-4,11	O2	-5,59
O1	-4,04	O2	-5,45
O1	-3,82	O2	-3,86
O1	-3,36	O2	-3,76
O1	-3,27	O2	-3,12
O1	-3,17	O2	-2,88
O1	-3,11	O2	-2,61
O1	-2,58	O2	-2,41
O1	-2,41	O2	-2,39
O1	-2,30	O2	-2,14
O1	-2,09	O2	-1,76
O1	-2,01	O2	-1,68
O1	-1,92	O2	-1,62
O1	-1,85	O2	-1,50
O1	-1,79	O2	-1,33
O1	-1,69	O2	-1,32
O1	-1,67	O2	-1,26
O1	-1,63	O2	-0,78
O1	-1,45	O2	-0,65
O1	-1,36		
O1	-1,27		
O1	-1,24		
O1	-1,24		
O1	-1,11		
O1	-1,10		
O1	-1,05		
O1	-1,03		
O1	-0,89		
O1	-0,77		
O1	-0,71		
O1	-0,70		
O1	-0,56		
O1	-0,45		
O1	-0,25		
O1	-0,25		
O1	-0,12		
O1	-0,11		
O1	-0,11		

- **Edificación O1:** - Máxima altura perdida: -10,04 m
- Media de las alturas perdidas: -2,33 m
- **Edificación O2:** - Máxima altura perdida: -10,62 m
- Media de las alturas perdidas: -3,99 m

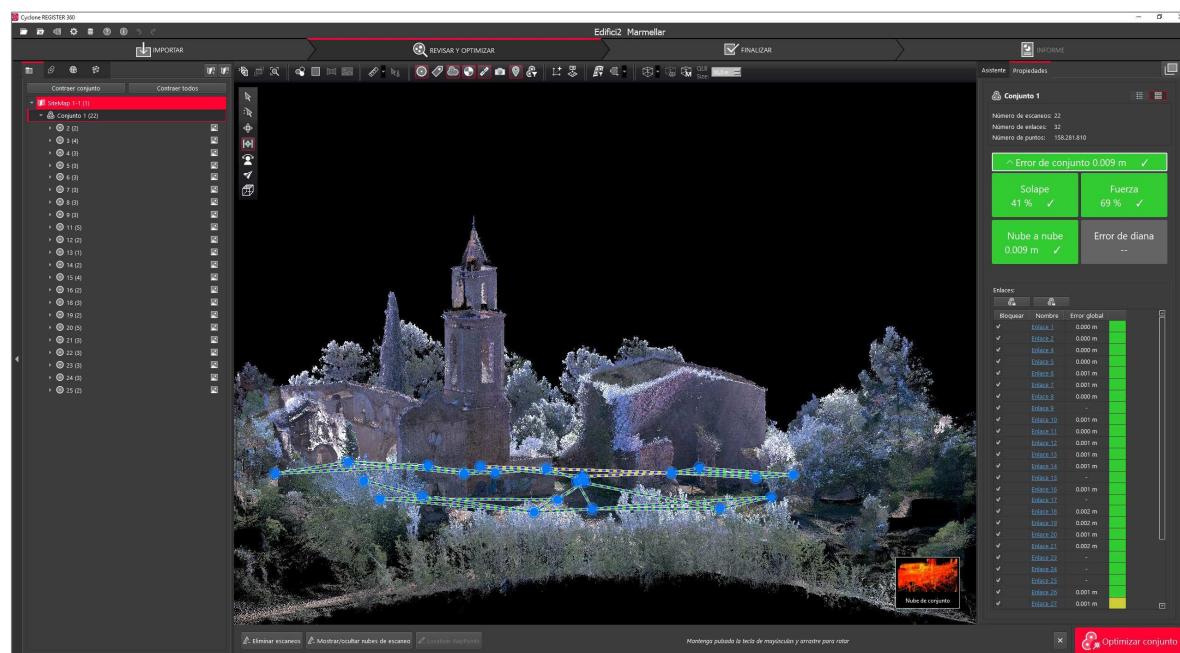
La densidad de puntos de los datos LiDAR 2008 y 2016 son realmente bajas en comparación con los del año 2021. No obstante, han servido para analizar las fuentes de datos disponibles para Cataluña, y explorarlas permitiendo desarrollar la metodología propuesta. Es preciso señalar que, cuando se tengan datos de igual o mayor densidad que los del año 2021, se podrá analizar cambios en las edificaciones realizando una comparación más fina, utilizando una malla ráster de mayor resolución espacial. Así como también, se podrá plantear cálculos volumétricos para analizar los cambios en el tiempo en cuanto a este parámetro.

Resultados con los datos del sensor LiDAR terrestre

Como resultado del procesamiento de datos de los 22 escaneos realizados con el sensor LiDAR terrestre, se ha obtenido una nube de puntos 3D en conjunto (edificación 01+ edificación 02). Al respecto, se consiguió la alineación de los escaneos de nube a nube, con 32 enlaces y una optimización del conjunto con una media de error de 9 milímetros (Figura 40). Para más detalle en cuanto a los parámetros y errores de cada enlace, ver en la sección anexos el informe final de calidad obtenido desde el Cyclone REGISTER 360.

Figura 40

Vista de la nube de puntos obtenida en el Cyclone REGISTER 360, con los parámetros resultantes de la alineación de los escaneos de nube a nube y el error medio del conjunto.



Otro resultado es haber logrado la georeferenciación de la nube de puntos en conjunto (Figura 42). El software Cyclone REGISTER 360, considera que al menos 3 puntos de control con coordenadas (x,y,z) se encuentren dentro de la tolerancia definida, en el caso del presente estudio fue de 10 centímetros. En ese sentido, tal como se aprecia en la figura 41 el error medio absoluto de los 3 puntos de control tomados en cuenta finalmente por el software fue de 7.4 centímetros. Es necesario señalar que, en total se añadieron 9 puntos de control con coordenadas (x,y,z), de los cuales 6 de ellos tuvieron un margen de error bastante superior a la tolerancia definida. Se entiende que esto sucede por haber georeferenciado utilizando datos de coordenadas (x,y,z) (ETRS89- UTM Zona 31N/ EPSG: 25831), extraídos desde la nube de

puntos del año 2021 proveniente del sensor LiDAR aerotransportado, y no haber empleado objetos de referencia tipo dianas con la georeferenciación respectiva haciendo uso de un gps diferencial y/o estación total durante las labores de campo, que es como en realidad lo recomiendan algunos de los estudios que han empleado sensor LiDAR terrestre.

Figura 41

Vista de la nube de puntos georeferenciada obtenida en el Cyclone REGISTER 360, con los parámetros resultantes de los puntos de control ingresados, los tres puntos considerados para lograr la georeferenciación, y el error medio absoluto.

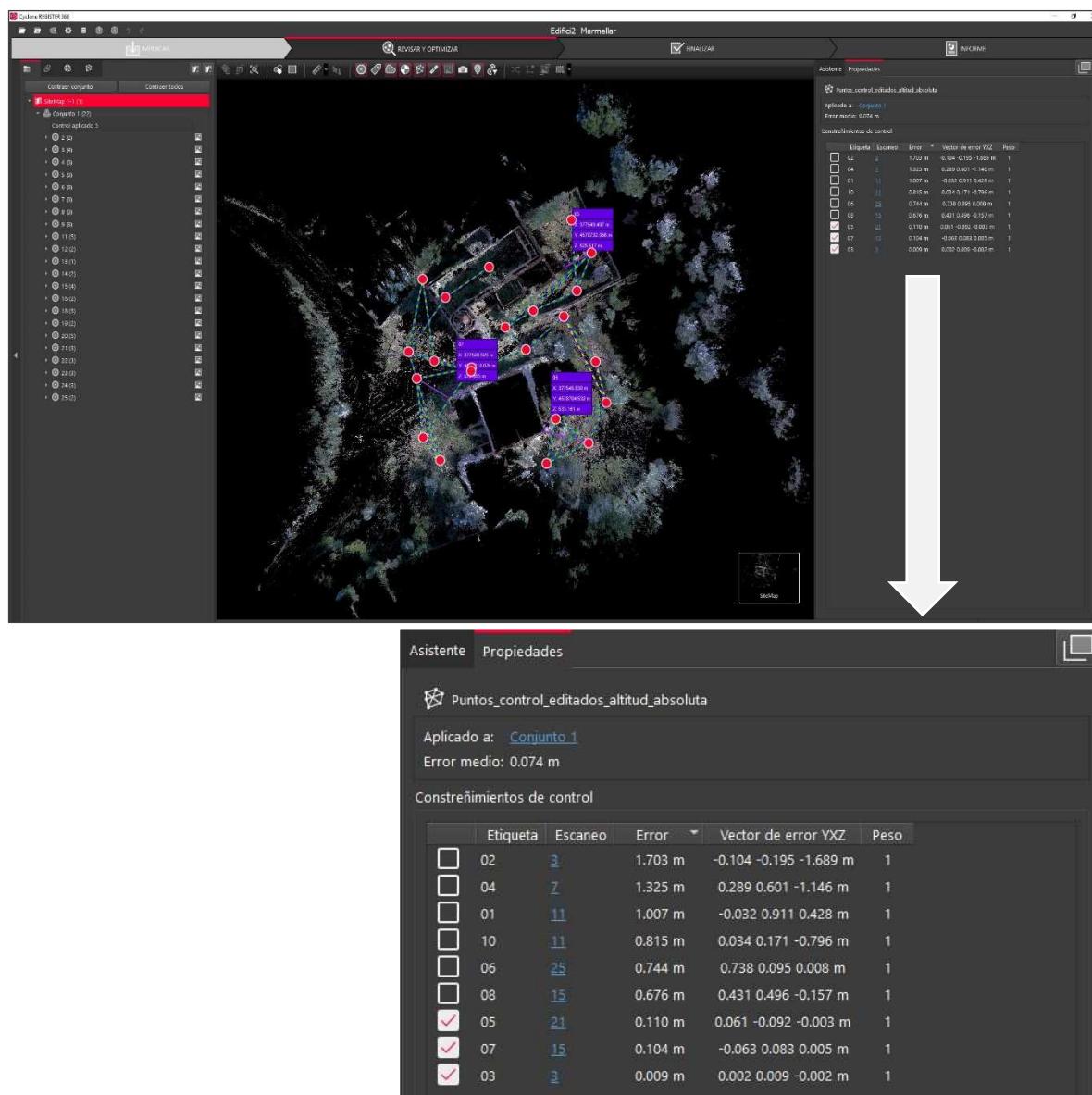
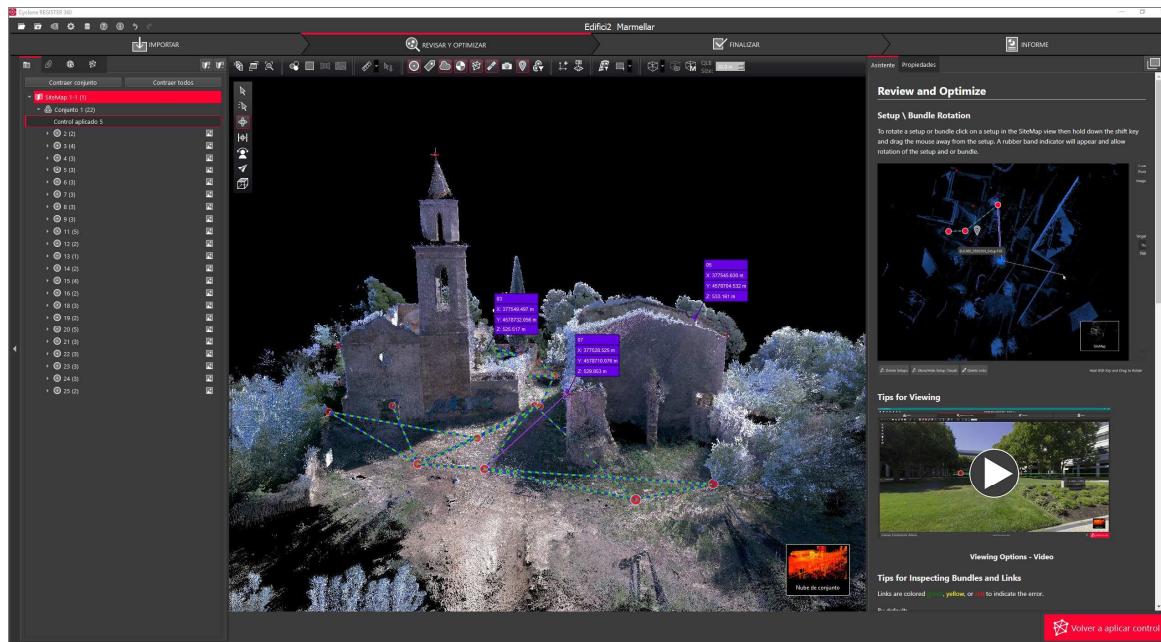


Figura 42

Vista de la nube de puntos georeferenciada, obtenida en el Cyclone REGISTER 360.



Análisis visual comparativo entre ambas nubes de puntos con sensor LiDAR (ALS y TLS)

El LiDAR aerotransportado, tiene un mayor alcance y menor densidad, es decir menor detalle que el terrestre, además con las características de una densidad de puntos similar a la nube del año 2021 analizada en este estudio, capta bastante bien los tejados (Figura 43). Sin embargo, no capta los detalles en la estructura de las fachadas; por lo que es adecuado para el mapeo de las edificaciones de forma general y en estudios comparativos a lo largo del tiempo, tal como es la detección de los cambios ocurridos en ellas. El sensor LiDAR terrestre, por otro lado, normalmente tiene un alcance más corto y una mayor densificación que el LiDAR aerotransportado, lo que lo hace adecuado para captar detalles particulares en la estructura de los edificios tal como lo muestra las figuras 44, 45 y 46. No obstante, está imposibilitado de captar los tejados de las edificaciones (Figura 47). Al respecto, en el presente estudio resulta difícil concluir que se va a utilizar el sensor LiDAR terrestre en el relevamiento de cada edificación de cada pueblo abandonado de Cataluña; lo cual nos lleva a plantear su utilización en el caso de las fachadas y/o paredes internas de alguna edificación emblemática que se desee registrar a detalle para documentar visualmente el patrimonio arquitectónico y cultural que existe en los pueblos abandonados de Cataluña. Al respecto, habiendo conseguido la georeferenciación de la nube de puntos obtenida con el sensor LiDAR terrestre, es factible la superposición con los datos del sensor LiDAR aerotransportado, y tal integración se podría almacenar y mostrar publicándola en una plataforma online de visualización en 3D.

Figura 43

Izquierda: Nube de puntos con sensor LiDAR terrestre- visualización color RGB. Derecha: Nube de puntos con sensor LiDAR terrestre + nube de puntos con sensor LiDAR aerotransportado (2021) – visualización color RGB.



Figura 44

Arriba: Perfil lateral de la edificación O1 en la nube de puntos con sensor LiDAR terrestre- visualización color RGB. Abajo: Perfil lateral de la edificación O1 en la nube de puntos con sensor LiDAR aerotransportado (2021). – visualización color RGB.

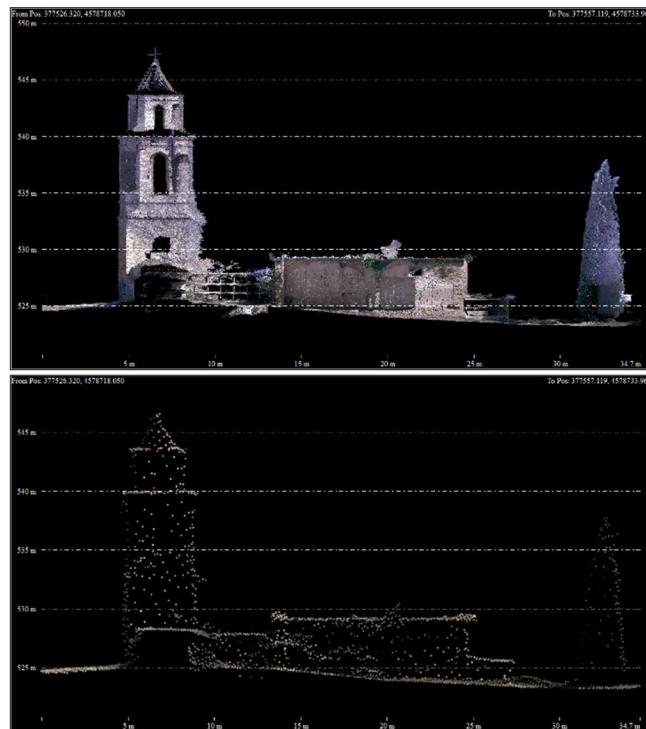


Figura 45

Arriba: Perfil lateral de la pared izquierda de la edificación 01 en la nube de puntos con sensor LiDAR terrestre- visualización color RGB. **Abajo:** Perfil lateral de la pared izquierda de la edificación 01 en la nube de puntos con sensor LiDAR aerotransportado (2021)- visualización color RGB.

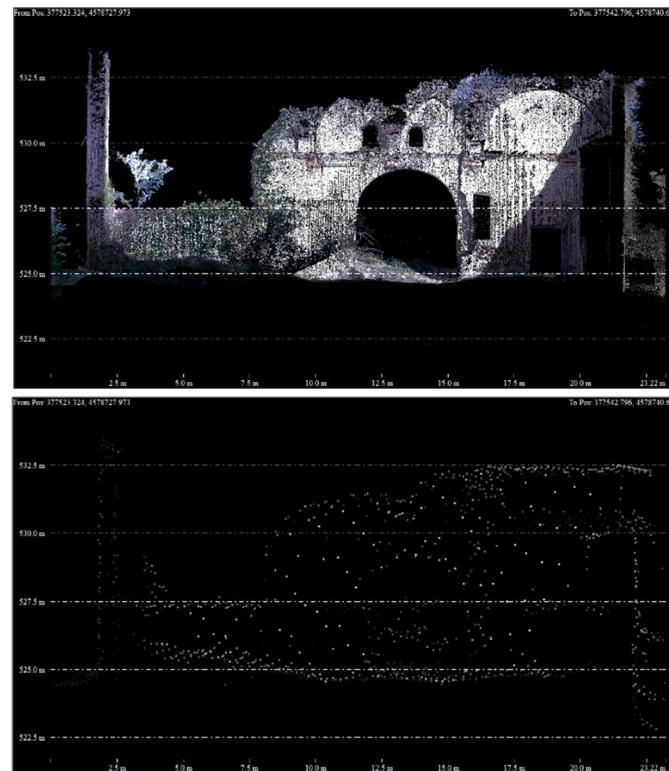


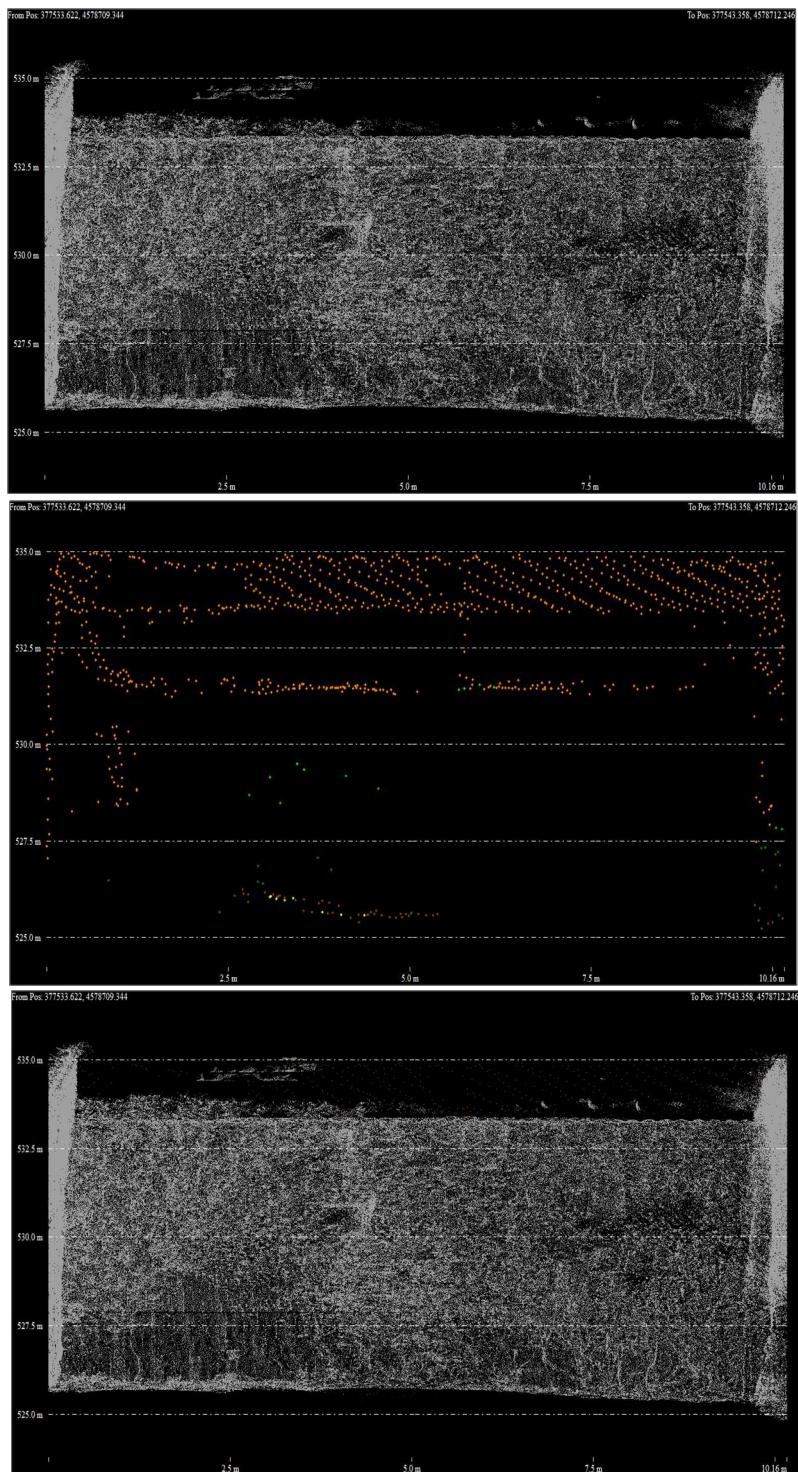
Figura 46

Izquierda: Perfil de fachada de la edificación 01 en la nube de puntos con sensor LiDAR terrestre- visualización color RGB. **Derecha:** Perfil de fachada de la edificación 01 en la nube de puntos con sensor LiDAR aerotransportado (2021)- visualización color naranja de la clase 6- edificios.



Figura 47

Arriba: Perfil de pared de lado izquierdo de la edificación 02, en la nube de puntos con sensor LiDAR terrestre- visualización color blanco puntos sin clasificar. **Medio:** Perfil de pared del lado izquierdo de la edificación 02, en la nube de puntos con sensor LiDAR aerotransportado (2021)- visualización clase 06 edificios en color naranja. **Abajo:** Visualización de pared (LiDAR terrestre) color blanco + tejado de la edificación 02 (LiDAR aerotransportado) color naranja.



8. CONCLUSIONES

El presente estudio, compuesto de tres partes según los objetivos propuestos, ha logrado desarrollar una metodología a partir de los datos cartográficos disponibles y apoyada en distintas operaciones y procesos de análisis espacial, realizados básicamente con SIG; con la finalidad de analizar las dinámicas territoriales en los pueblos abandonados de las comarcas catalanas de Noguera y Segarra. Con relación al primer objetivo donde se analizó la accesibilidad vial en los pueblos abandonados ubicados en ambas comarcas, en Segarra se obtuvieron los menores tiempos de desplazamiento hacia los puntos de interés territorial definidos en comparación a la Noguera, lo refleja una conectividad vial diferente entre una y otra comarca. En tal sentido, y respondiendo a la pregunta de investigación sobre este tema, se puede concluir que Segarra tiene cierta ventaja sobre Noguera, en cuanto a accesibilidad vial. Sin embargo, y aunque la literatura consultada posiciona a la conectividad vial como un factor de abandono; aún con este estudio es prematuro establecer de manera concluyente a la conectividad vial como una de las causas del abandono de estos pueblos, pues faltarían mayores datos comparativos para el análisis.

En cuanto al segundo objetivo del estudio, referente a los cambios en las cubiertas de suelo y en la fragmentación del bosque; en Noguera se observa claramente la predominancia de la cubierta de tipo forestal, mientras que en Segarra la cubierta preponderante es la de cultivo. Referente a ello, en ambas comarcas, los cambios ocurridos durante el intervalo aproximado de diez años, tanto con el CLC (1990-2000) como con el SIOSE (2005-2014), no han resultado significativos o relevantes, por lo tanto, no han tenido mayor impacto en la dinámica del territorio. Asimismo, respondiendo a una de las interrogantes iniciales en cuanto a los cambios acontecidos en la fragmentación del bosque, se indica que en la Noguera desde 1990 al 2000 la fragmentación forestal aumenta levemente, mientras que del 2005 al 2014 aumenta ligeramente la continuidad forestal, es decir la fragmentación disminuye. Cabe señalar, que estos cambios se han obtenido en porcentajes muy bajos (menores al 2%) por lo que no se puede señalar de manera concluyente si en Noguera existe tendencia a la fragmentación o a la continuidad forestal. Con respecto a Segarra, desde 1990 al 2000, al igual que del 2005 al 2014 no existe cambios notables en la fragmentación forestal. Lo que si se resalta en Segarra es el considerable porcentaje de la clasificación parche, en un territorio donde predomina la cubierta de cultivo. En síntesis, se concluye que en ambas comarcas no hay una clara tendencia en la fragmentación del bosque, y lo que se puede desprender de los resultados de este objetivo, es que al ser Noguera un territorio donde destaca una gran superficie de cubierta forestal habría que colocarle especial atención en relación con el riesgo de incendios forestales y proponer futuras extensiones de este estudio para analizar las dinámicas del territorio con fuentes de datos de años más recientes.

Por otra parte, en cuanto al tercer objetivo del estudio, se exploraron las fuentes de datos procedentes de sensor LiDAR aerotransportado y de sensor LiDAR terrestre. Con datos multitemporales del primero, se desarrolló la metodología para el análisis de los cambios en las edificaciones en el pueblo abandonado Marmellar de Montmell. Con relación a ello, se identificó y destacó un aspecto importante. La baja densidad en una nube de puntos no ayuda a detectar de manera resaltante los cambios en las edificaciones, más aún con las características que presenta un pueblo en total abandono desde hace varias décadas como es el caso de Marmellar de Montmell, con tejados en su mayoría derruidos y en el que la abundancia de la masa vegetal se ha posado sobre las estructuras de las edificaciones, e incluso al realizar una clasificación manual es una tarea difícil diferenciar las clases de puntos que corresponden a edificios de manera fehaciente. Tal es así que, al intentar realizar un análisis de cambios con los datos de los años 2008 y 2016, siendo ambos los de menores densidades de puntos, no se pudo obtener resultados favorables y concluyentes con ellos. No obstante, para explorar y

desarrollar una metodología se utilizaron los datos LiDAR de mayor densidad, es decir los del año 2021, con los del año 2008, logrando identificar espacialmente los cambios en una de las edificaciones elegidas para la muestra y obteniendo las estadísticas principales en las alturas de las edificaciones. En tal sentido, se puede responder afirmativamente a una de las preguntas de investigación propuestas, y considerar a futuro que cuando se dispongan de datos captados con sensor LiDAR aerotransportado, de igual o mayor densidad que los del año 2021, se podrá analizar cambios en las edificaciones realizando una comparación más fina. Asimismo, se podría plantear cálculos volumétricos para analizar los cambios en el tiempo en cuanto a este parámetro.

Dando respuesta a otra de las preguntas de investigación planteadas, los resultados obtenidos con el sensor LiDAR terrestre, nos muestran un enorme aporte visual por ofrecer un gran detalle de las estructuras de las edificaciones, tal como en las fachadas y paredes laterales. No obstante, y tal como lo sostiene la literatura revisada en un inicio, no ha podido captar los tejados de las edificaciones. En tal sentido, se logró la georeferenciación de la nube de puntos del LiDAR terrestre, y se consiguió la superposición con la nube de puntos del LiDAR aerotransportado, para evaluar su complementariedad. Con relación a esto, y aun cuando los productos de ambos sensores se complementan de manera óptima en el despliegue visual, resulta complicado pensar la utilización del LiDAR terrestre en el relevamiento de cada edificación en cada pueblo abandonado de Cataluña; lo cual nos lleva a plantear su uso sólo en el caso de las fachadas y/o paredes internas de alguna edificación emblemática que se deseé registrar a detalle para documentar visualmente el patrimonio arquitectónico y cultural que existe en los pueblos abandonados de Cataluña. Asimismo, cuando con el análisis de datos provenientes de LiDAR aerotransportado se identifiquen cambios resaltantes en una edificación emblemática, eventualmente se podría volver a ir con el sensor LiDAR terrestre para la captación de datos y evaluación de los cambios a detalle.

Finalmente, se considera como una propuesta a futuro la generación de una plataforma online interactiva de visualización 3D en la cual se vayan almacenando y mostrando los productos obtenidos, para el uso de los distintos profesionales involucrados con el análisis multidisciplinario en el marco del proyecto *"Pobles Abandonats. Una herència universal per al coneixement i el desenvolupament del territori"*, y por supuesto, para el público en general.

9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ArcMap. (n.d). *Qué es un dataset de red*. Recuperado el 28 de abril del 2023 de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-a-network-dataset.htm>
- Badia, A., Gisbert, M. (2021). *La Continuidad Forestal Como Desafío A Los Incendios En Las Comarcas De Montaña De Cataluña (1993-2018)*. "Geografía, cambio global y sostenibilidad"- XVII Congreso de la Asociación Española de Geografía.
- Boulaassal, H., Landes, T., Grussenmeyer, P., Tarsha-Kurdi, F. (2007). *Automatic segmentation of building facades using terrestrial laser data*. International Symposium of Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS, Workshop on laser scanning 2007 and SilviLaser 2007. Finland.
- Butkiewicz, T.; Chang, R.; Wartell, Z. y Ribarsky, W. (2008). *Visual Analysis And Semantic Exploration Of Urban LIDAR Change Detection*. Comput. Graph. Forum 27, pp. 903-910.

- Collantes, F. (2004). *El Declive Demográfico De La Montaña Española (1850-2000) ¿Un Drama Rural?*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Guirado González, C. (2008) *Dualidad Territorial En Espacios Rurales De Montaña. Repercusiones En El Paisaje Del Pirineo Catalán*. Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Barcelona, 26-30 de mayo de 2008 <https://www.ub.edu/geocrit/-xcol/447.htm>
- Idescat. (n.d.). *Datos de población. Institut d' Estadística de Catalunya*. Recuperado el 11 de abril del 2023 de <https://www.idescat.cat/>
- Liu, M.; Shao, Y.; Li, R.; Wang, Y.; Sun, X.; Wang, J.; You, Y. (2020). *Method For Extraction Of Airborne Lidar Point Cloud Buildings Based On Segmentation*. PLOS ONE 15(5): e0232778. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232778>
- OFC. (n.d.). *Observatori Forestal Català. Usos del suelo*. Recuperado el 26 de abril del 2023 de <https://www.observatoriforestal.cat/usos-del-sol/>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Edición del autor. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Pobles Abandonats (n.d.). *Una herència universal per al coneixement i el desenvolupament del territori*. Recuperado el 27 de marzo del 2023 de <https://www.poblesabandonats.cat/>
- Torró, J. (1990). *Poblament i Espai Rural: Transformacions Històriques*. València: Alfons el Magnànim, Institució Valenciana d'Estudis i Investigació.
- Trinder, J. y Salah, M. (2011). *Disaster Change Detection Using Airborne Lidar*. Proceedings Of The Spatial Sciences & Surveying Biennial Conference 2011 21-25 November 2011, Wellington, New Zealand.
- Vögtle, T. y Steinle, E. (2004). *Detection And Recognition Of Changes In Building Geometry Derived From Multitemporal Laserscanning Data*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35, B2, pp. 428-433.
- Vu, T.T.; Matsuoka, M. y Yamazaki, F. (2004). *LIDAR-based Change Detection of Buildings in Dense Urban Area*. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing symposium, Anchorage, Alaska, US.
- Yamazaki, F.; Liu, W.; Horie, K. (2022). *Use of Multi-Temporal LiDAR Data to Extract Collapsed Buildings and to Monitor Their Removal Process after the 2016 Kumamoto Earthquake*. Remote Sens. 2022, 14, 5970. <https://doi.org/10.3390/>
- Zhang, R.; Wu, J.; Li, G.; Wang, L. (2018). *A Mixed Algorithm for Building Facade Extraction from Point Clouds*. International Journal of Performability Engineering, v. 14, n. 6, p. 1119-1129.

ANEXOS

A1. Informe final de calidad de la nube de puntos (TLS)

Cyclone REGISTER 360

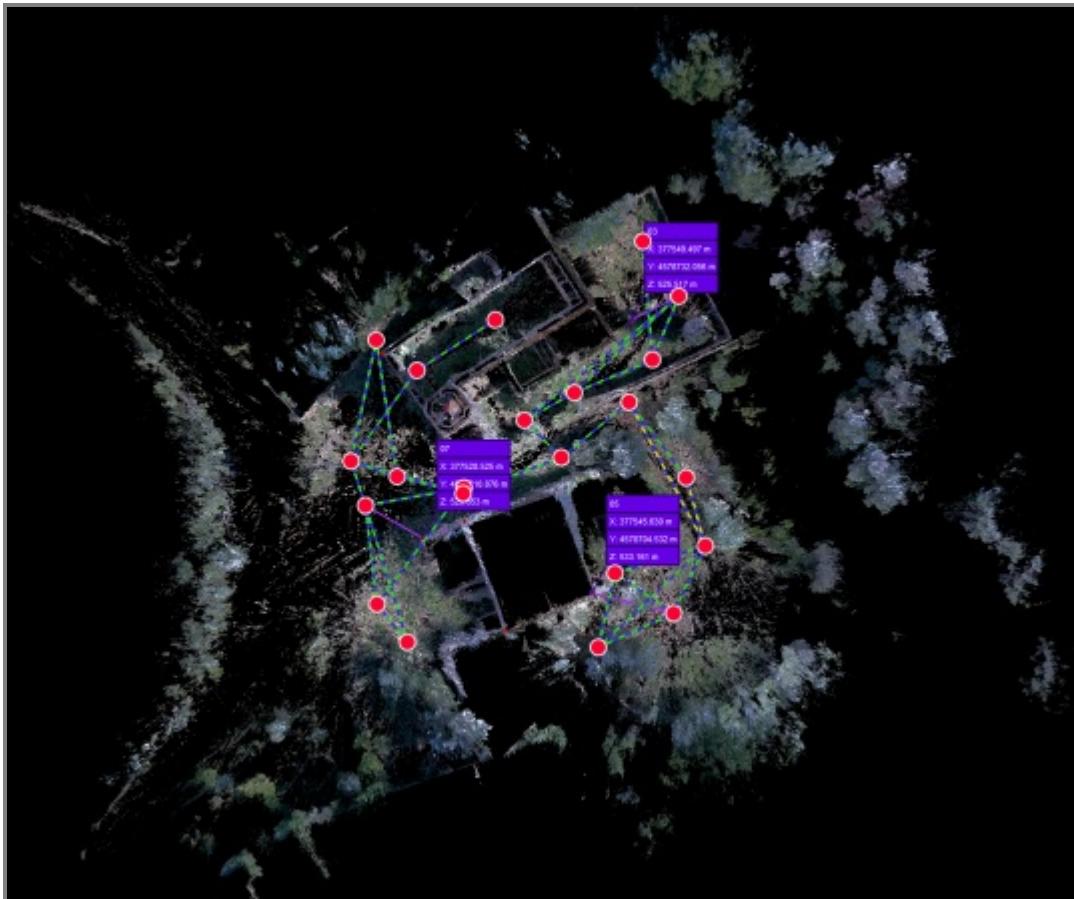
Informe de registro

Leica
Geosystems

jun. 13, 2023

Certificado por:

Geog. Lorena Garcia D.
TFM-Máster en Geoinformación
Dpto. Geografía - UAB



SiteMap 1-1

Calidad general

Resultados de error para Conjunto 1

Número de escaneos: 22

Número de enlaces: 32

Fuerza: 62 %

Solape: 41 %

Error de conjunto
0.009 m ✓

Solape
41 % ✓

Fuerza
62 % ✓

Nube a nube

Error de diana

0.009 m ✓

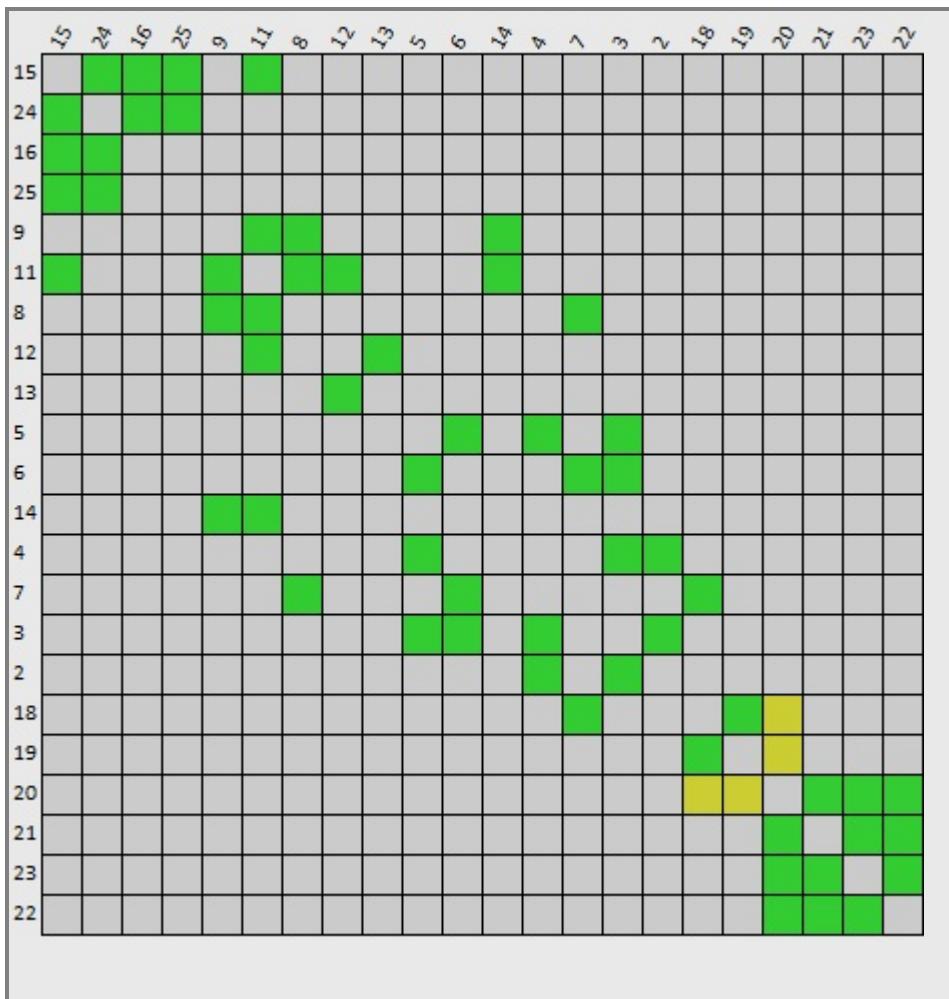
--

Error máximo de 0.015 m.

Error máximo de 0.025 m.

Error mayor de 0.025 m.

Matriz de calidad de enlaces #1 -



Informe de medición

Error medio Abs. de control a 'Conjunto 1': **0.074 m**

Nombre de conjunto	Escaneo	Etiqueta	Error
Conjunto 1	15	07	0.104 m
	3	03	0.009 m
	21	05	0.110 m

Resultados de error de enlace

1 Vista general

Nombre de enlace	Escaneo 1	Escaneo 2	Solape	Error medio Abs.
Enlace 1	15	24	48 %	0.009 m
Enlace 2	15	16	53 %	0.010 m
Enlace 4	24	25	59 %	0.008 m
Enlace 5	15	25	42 %	0.012 m
Enlace 6	16	24	28 %	0.008 m
Enlace 7	9	11	60 %	0.008 m
Enlace 8	8	9	57 %	0.010 m
Enlace 9	12	13	70 %	0.003 m
Enlace 10	5	6	46 %	0.011 m
Enlace 11	8	11	47 %	0.011 m
Enlace 12	11	14	38 %	0.010 m
Enlace 13	4	5	57 %	0.011 m
Enlace 14	9	14	35 %	0.011 m
Enlace 15	7	6	22 %	0.005 m
Enlace 16	3	2	49 %	0.010 m
Enlace 17	8	7	38 %	0.007 m
Enlace 18	4	3	61 %	0.012 m
Enlace 19	2	4	32 %	0.010 m
Enlace 20	3	5	33 %	0.010 m
Enlace 21	3	6	21 %	0.012 m
Enlace 23	11	12	23 %	0.005 m
Enlace 24	11	15	59 %	0.005 m
Enlace 25	7	18	34 %	0.006 m
Enlace 26	18	19	28 %	0.010 m
Enlace 27	19	20	34 %	0.019 m
Enlace 28	18	20	20 %	0.019 m
Enlace 29	21	20	39 %	0.007 m
Enlace 30	21	23	41 %	0.008 m
Enlace 31	20	23	31 %	0.011 m
Enlace 32	22	23	24 %	0.013 m
Enlace 33	21	22	46 %	0.007 m
Enlace 34	20	22	33 %	0.009 m