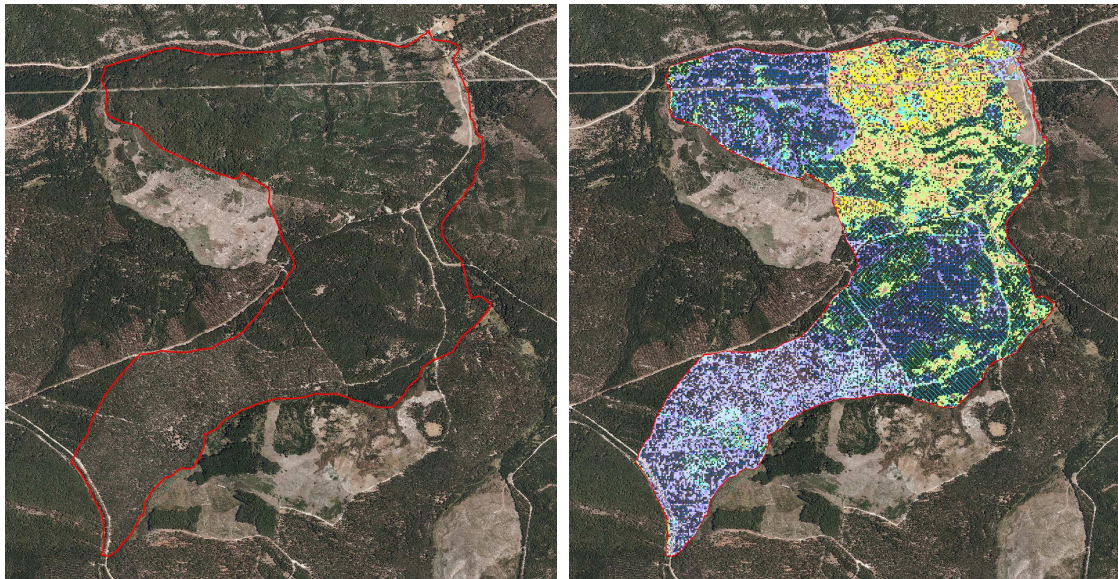


# SILVILIDAR: APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA DIAGNOSIS SELVÍCOLA UTILIZANDO LIDAR



**-ARTÍCULO-**

**Autores:**

Alejandro Crespo Rodrigo ([crerodal@jcyL.es](mailto:crerodal@jcyL.es))

Francisco Javier Díez Rábanos ([dierabfr@jcyL.es](mailto:dierabfr@jcyL.es))



Diciembre 2016. Soria



## SILVILIDAR: APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA DIAGNOSIS SELVÍCOLA UTILIZANDO LIDAR.

Crespo Rodrigo, Alejandro<sup>1</sup> ([crerodal@jcyl.es](mailto:crerodal@jcyl.es)).

Díez Rábanos, Fco. Javier<sup>1</sup> ([dierabfr@jcyl.es](mailto:dierabfr@jcyl.es)).

<sup>1</sup> Servicio Territorial de Medio Ambiente de Soria. Junta de Castilla y León.

### CITA RECOMENDADA:

CRESPO RODRIGO A., DÍEZ RÁBANOS F.J., 2016. SilviLiDAR: Aplicación informática para la diagnosis selvícola utilizando LiDAR. Junta de Castilla y León.

### RESUMEN:

Se trata de la creación de una metodología y de una herramienta informática (SilviLiDAR), mediante un script, que analiza una serie de parámetros selvícolas obtenidos a partir de los datos LiDAR y, con la utilización de un árbol de decisión construido en base a la estructura, estado de desarrollo y grado de competencia del arbolado, clasifica por celdas (cuadrículas básicas) el territorio por tipos de masa y su posible necesidad de actuación selvícola, y lo expresa cartográficamente a través de QGIS.

### PALABRAS CLAVE:

LiDAR, silvicultura, ordenación, gestión forestal, razón de copa, rodalización, claras, competencia, script, Fusion, Python, QGIS, tipos de masa, estructura forestal.

## 1.-INTRODUCCIÓN.

La realización del **vuelo LiDAR del PNOA** y la posterior apertura de acceso a los datos ha supuesto un paso adelante importante en cuanto a la posibilidad de utilización de nuevas herramientas para la gestión del territorio.

Al margen de niveles de resolución (puntos/m<sup>2</sup>), el simple hecho de tener una **imagen tridimensional del bosque por su interior** y poder manejarla con facilidad supone facilitar la labor de **caracterización e inventariación de los bosques**.

Con la resolución del LiDAR del PNOA (que es de 1 punto cada 2 m<sup>2</sup>) si el vuelo LiDAR se ha realizado durante el período vegetativo, es posible desentrañar con buena aproximación la **estructura del bosque, además de su estado de desarrollo y, también, el grado de competencia entre el arbolado**. Véase cualquier imagen de los rebotes LiDAR, por ejemplo mediante la aplicación FugroViewer, de una franja (en línea de máxima pendiente por tratarse de cortes con plano vertical) y se podrá observar el bosque en su interior como si se tratase de una ecografía. Esto es fundamental para la referida caracterización, pero también para, incluso, llegar a obtener parámetros cuantitativos que sirvan para evaluar las existencias del bosque.

Disponer de esos puntos, obtenidos mediante el rebote de los pulsos laser sobre la vegetación y el suelo, localizados por sus coordenadas, es mucho más que tener una imagen en 3D, ya que hace posible **obtener resultados numéricos**.

## 2.-OBJETIVOS.

Se pretende **facilitar la extracción de información útil para la gestión forestal** a partir de los miles de puntos por hectárea que forman parte de los datos LiDAR.

Para ello es necesario, en primer lugar, crear una **metodología** que permita **extraer** la información valiosa y posteriormente **transformarla** en parámetros (selvícolas) a los que está acostumbrado el gestor forestal, o incluso mejor, el no versado en la materia.

A su vez, dado el gran volumen de información que se maneja y los sucesivos pasos a concatenar, esto se concreta en la creación de una herramienta a modo de **aplicación informática que denominaremos “SilviLiDAR”, utilizando un script**, en la que se introducen los archivos LiDAR y nos **devuelve cartografía** que sirva para **evaluar las masas de arbolado** en aspectos necesarios para su gestión.

Y se trata de llegar a la **caracterización** de las masas (tipos de masa) en base a su estado de desarrollo, estructura y grado de competencia, conseguir un **diagnóstico selvícola** de las mismas, que permita ver las necesidades de actuación e, incluso, facilite la cuantificación de sus **existencias** a partir de la elaboración de unos parámetros selvícolas (derivados de los datos LiDAR) que caracterizan el arbolado desde un punto de vista estructural.

Con ello, se busca obtener una herramienta de **apoyo a la rodalización**, en función de los tipos de masa, orientada a la selección de rodales (subrodales) **necesitados de claras**. Como consecuencia, se hace posible concentrar el esfuerzo de inventario en ellos, reduciendo gastos.

Además, se intenta extender la herramienta con el fin de poder **caracterizar más detalladamente** los diferentes **tipos de masa o rodales** (subrodales) y descubrir **las necesidades de actuación selvícola** (obteniendo lo que denominamos tipos de masa ampliados) no solo en cuanto a claras, sino también en cuanto a **tratamientos selvícolas** (de forma menos exhaustiva) en masas poco desarrolladas o en cuanto a **cortas de regeneración** en masas que ya hayan culminado su desarrollo llegando a la senectud. Con ello, podemos decir que vamos camino de culminar las expectativas clasificatorias de la **ordenación del monte**, ya que, además de obtener la caracterización de los diferentes estados de desarrollo del ciclo vital de las masas, mostraríamos las posibles necesidades de tratamiento de las mismas, pero no solo en su aspecto cualitativo, sino que permitiría mejorar la aproximación al aspecto cuantitativo, es decir, nos permitiría efectuar un buen acercamiento a la planificación selvícola del monte.

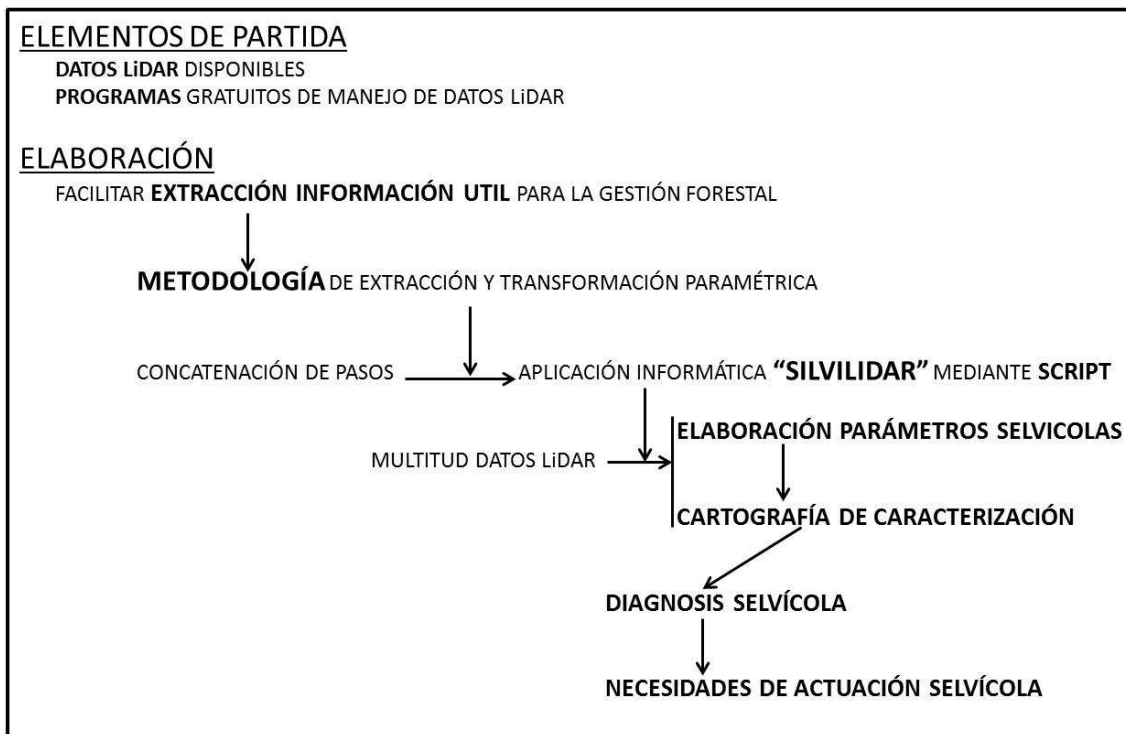


Figura 1: Esquema de trabajo.

### 3.-METODOLOGÍA.

Se aprovechan los indicadores de estructura del arbolado para parametrizarlos de tal forma que sirvan para evaluar el estado de crecimiento del mismo.

#### 3.1.-INFORMACIÓN LiDAR Y SOFTWARE DE PARTIDA DISPONIBLE.

-En la actualidad hay disponibles datos LiDAR procedentes de diversos vuelos, como los del IGN (LiDAR del PNOA), País Vasco, etc., cada con unas características determinadas en cuanto a densidad de puntos, numero de rebotes y otras variables. El objetivo es emplear como datos de partida cualquiera de ellos tanto en formato LAS como en formato LAZ.

-Tipos de programas de manejo de los datos LiDAR: Se utilizan programas gratuitos para el manejo de datos como Fugroviewer y Fusion

-Manejo de los datos LiDAR:

Visualización 3D de secciones con programas como Fugroviewer.

Extracción de la información LiDAR con FUSION para generar imágenes raster.

Manejo de los raster creados para filtrar y clasificar los datos con el programa QGIS.

Para la concatenación de pasos se utiliza el lenguaje de programación Python.

### 3.2.-BASES CIENTÍFICO-TÉCNICAS DE LA CARACTERIZACIÓN DE MASAS MEDIANTE LiDAR.

La competencia del arbolado marca el crecimiento del mismo. Las masas arboladas que crecen en competencia son las incluidas en este trabajo. Otras masas, como las gestionadas para resinación o para fruto, aunque el resultado de lo expuesto aquí no sea de aplicación directa, también son susceptibles de considerarse modificando los valores de los parámetros que sirven para clasificar las masas.

El **desarrollo del arbolado en espesura** tiene unas pautas que quedan reflejadas en la **estructura del arbolado**.

El arbolado **crece en altura** a lo largo del tiempo en función de la **calidad de estación**, pero también en función de la **densidad** (al menos, en sus valores extremos) y del **estado más o menos saludable** en que se encuentre el mismo.

Decía SERRADA (2008) que la medición de la poda natural (longitud del árbol sin ramas o con ramas muertas) en un rodal regular es una forma de expresar la espesura muy eficaz.

Pues bien, completamos aquí esta idea utilizando como indicador de la **espesura** la **razón de copa verde** o razón de copa.

De acuerdo con la **densidad**, la **copa del arbolado** está más o menos desarrollada, además de en anchura, en longitud: según va creciendo el arbolado que se encuentra en densidad suficiente (en espesura) y en un entorno de alturas del mismo homogéneo, se van muriendo las ramas más bajas (una vez alcanzado el estado de latizal), observándose una relación directa entre el **espaciamiento** del arbolado y la **longitud de copa verde**, y, por tanto, la proporción de esa longitud respecto a la altura total (**razón de copa**) se va reduciendo. A mayor densidad de arbolado le corresponde (a la par que mayor espesura) menor longitud de copa y menor razón de copa, de tal forma que la medida de estas dos últimas sirve de indicador de la densidad de arbolado y de la espesura, respectivamente.

Cuando la razón de copa se reduce de forma importante, el arbolado pierde **vitalidad**, y si coincide con un estado de desarrollo muy avanzado del mismo puede suponer su **senectud**.

Las masas aclaradas presentan una **fracción de cabida cubierta** apreciablemente inferior a la de la masa original. Y por supuesto, la **fracción de cabida cubierta** está directamente relacionada con las existencias de la masa (a mayor fracción de cabida cubierta, mayores existencias).

### 3.3.-PARÁMETROS BÁSICOS DERIVADOS DE DATOS LiDAR.

Los datos LIDAR se componen de un listado de coordenadas XYZ, utilizadas en este estudio, junto con una serie de características como intensidad, clasificación, número de retorno...

La intensidad es una medida, recogida para cada punto, de la fuerza de retorno del pulso láser. Se basa, en parte, en la reflectividad del objeto alcanzado por el pulso láser. La intensidad es una medición relativa, por lo tanto no se puede esperar, de vuelo a vuelo o de

elevación a elevación, el mismo valor del mismo objetivo. Por ello, no se ha utilizado en este estudio.

La clasificación define el tipo de objeto que reflejó el pulso láser. Los puntos LIDAR se pueden clasificar en varias categorías que incluyen suelo o terreno desnudo, edificaciones, cubierta forestal... Se realiza en un postproceso, por lo que en función del software empleado se obtendrá un resultado u otro. Muchos de los datos LiDAR disponibles no tienen una buena clasificación, por lo que tampoco se ha empleado.

Un solo pulso emitido puede producir varios rebotes. El número de retorno es el orden de devolución de los rebotes del pulso emitido. Éste es un valor objetivo e intrínseco del vuelo LiDAR que sí se ha empleado.

Con todos estos datos (coordenadas y orden de retorno) y empleando el programa FUSION, primero se seleccionan los puntos que conforman el suelo. Con ellos se obtiene un modelo digital de elevaciones del terreno. Finalmente, a la coordenada “z” de los demás puntos de la nube se le resta la correspondiente del suelo anteriormente generado y, de este modo, se tienen los puntos normalizados con la altura respecto al suelo.

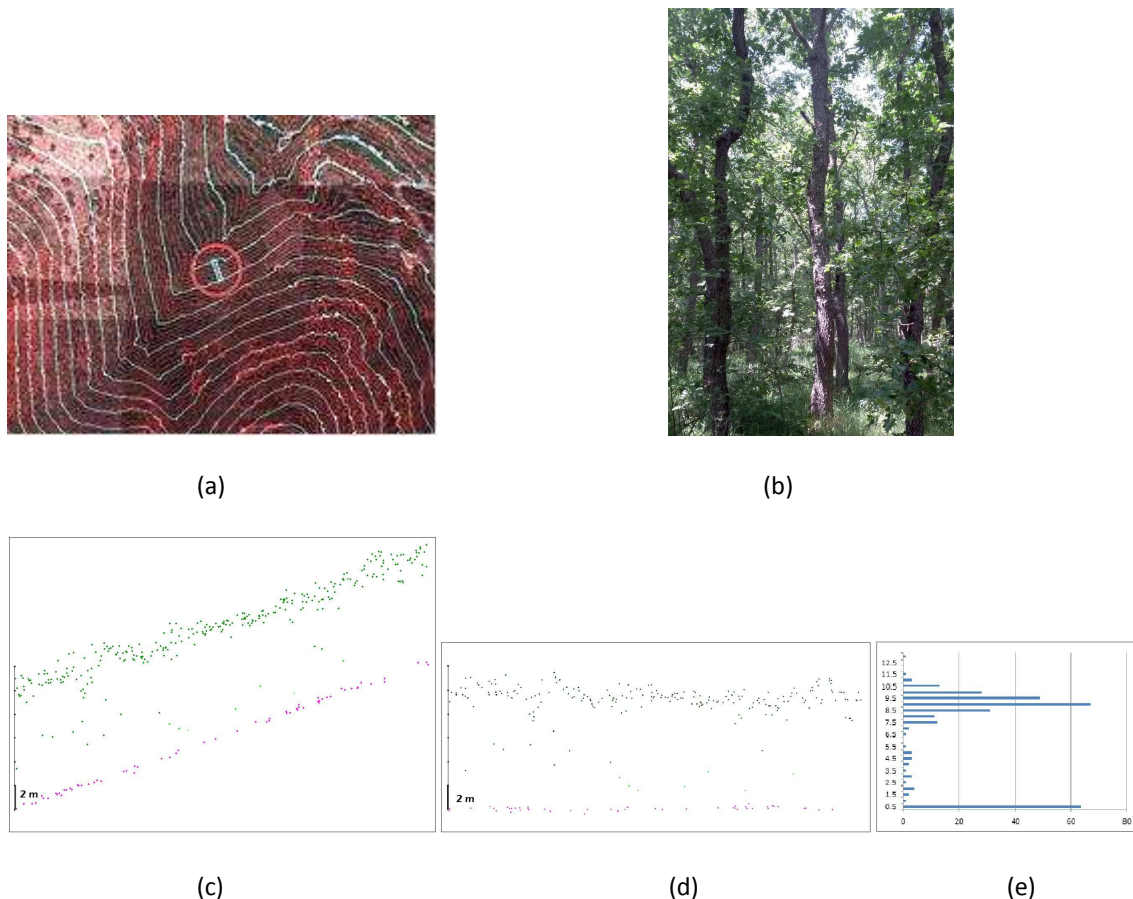


Figura 2: Representación de una zona de monte (a) de rebollar del tipo indicado (b) de alzado de nube de puntos LiDAR real (a), una vez normalizada la altura (b) e histograma de alturas de puntos (c).

Interpretar varios millones de puntos por  $\text{km}^2$  no es sencillo, pero en nuestro caso trabajamos en cuadrículas de  $10\text{m} \times 10\text{m}$  como unidad básica de estudio, que es lo que

denominamos celda. En ellas puede haber, en promedio, desde 50 puntos (en el caso de un sólo rebote por punto) hasta varios cientos, con los que trabajar en cada una.

Simplificando aún más, estudiamos la distribución de los puntos dentro de la celda, por ejemplo, analizando la distribución por percentiles de las alturas. El **percentil** es una medida de tendencia central usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 95 es el valor debajo del cual se encuentran el 95 por ciento de las alturas.

Con esos datos se han elaborado los siguientes parámetros:

-La **altura** del arbolado:

Para ello utilizamos el valor del percentil del 95% (ya empleado habitualmente en el inventario de montes con LiDAR), en nuestro caso, como relacionado con la altura media del arbolado. También podría utilizarse el percentil del 99% para aproximarnos a la altura dominante  $H_0$  (aunque más preciso sería si la definición de ésta fuera la de la altura de los árboles más altos, en lugar de la de los más gruesos).

-La **longitud de copa** y la **razón de copa**:

La **copa** es indicadora del estado vital del árbol y, por tanto, de su posible desarrollo futuro, y consecuentemente su **caracterización** puede servir para diagnosticar el **estado del arbolado** de la masa y, al mismo tiempo, **determinar qué actuaciones son necesarias** en la misma. Además, “si bien lo que ocurre bajo tierra puede ser determinante, lo que se observa en la parte aérea parece suficientemente revelador, esto es, sirve para la predicción del comportamiento futuro aunque no se haya evaluado la parte subterránea” (SEVILLA, 2008), es decir, la copa también sirve como indicador de la posible evolución del arbolado.

La razón de copa de una masa es el porcentaje de la altura del árbol medio ocupado por las ramas vivas (SERRADA, 2008). Aquí se considera lo que denominamos **razón de copa funcional o LiDAR**, muy relacionada con la anterior y que se calcula discriminando los rebotes de copa del arbolado, del resto. Para ello se establece un filtro para eliminar los rebotes que estén en los 2 m más próximos al suelo, con el fin de no tener en cuenta los producidos por rocas y matorral, y se toma el percentil del 20% por aproximarse ese punto a la zona de la base de la copa.

Si observamos la distribución de puntos obtenidos mediante LiDAR en la vertical y construimos el **histograma** de frecuencias a lo largo de la misma podemos ver representada la copa. Si eliminamos los puntos de los 2 m de la base para no tener en cuenta el suelo, rocas o vegetación de sotobosque y luego eliminamos también el 20% de los puntos de la parte inferior para no considerar otra vegetación del estrato inferior del bosque, obtenemos entonces un dibujo muy aproximado de la copa del arbolado, teniendo así la longitud de copa del mismo.



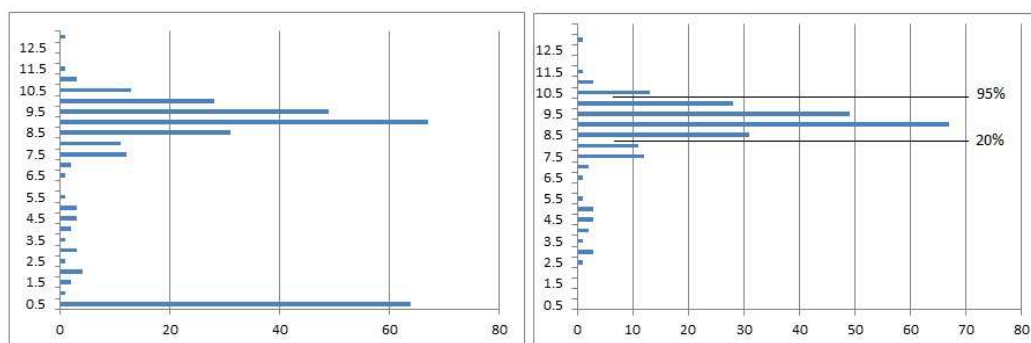


Figura 3: Histograma de alturas de puntos total y una vez eliminados los puntos de los 2 metros inferiores. En este último se puede ver la posición de los percentiles 20% y 95%

Esta longitud de copa la denominamos **longitud de copa LiDAR o funcional** (y de ahí, razón de copa funcional) porque no es exactamente la longitud de copa verde del arbolado. Lo que llamamos copa funcional se corresponde con aquella parte de la copa más expuesta a la luz, por eso sí se obtienen rebotes LiDAR de la misma, es decir, existe copa verde funcional allá donde llega la luz de forma evidente y si llega la luz también llega el laser del LiDAR. Todos sabemos que la parte inferior de la copa de los árboles no está plenamente desarrollada (las ramas están menos desarrolladas que las superiores y están más peladas de hojas debido a la sombra) y, por tanto, no es plenamente productiva, está constituida por las ramas todavía verdes a la sombra de las superiores, pero que les queda poco para sucumbir por la reducción de luz conforme se va produciendo el crecimiento del arbolado.

-La **fracción de cabida cubierta** del arbolado:

La fracción de cabida cubierta cuantifica la parte de la superficie total del rodal que está cubierta por la proyección de las copas del arbolado (SERRADA, 2008). Pero más concretamente, no tenemos en cuenta los solapes de las copas o recubrimientos múltiples, es decir, consideramos lo que se denomina el grado de recubrimiento, según SCHÜTZ (1990) y LANIER (1986), o sea, utilizamos la proporción de superficie ocupada por el arbolado y sus copas respecto a la superficie total de terreno. En nuestro caso, empleamos la que denominamos fracción de **cabida cubierta LiDAR** que definimos como la proporción de primeros rebotes que caen en arbolado respecto al total de primeros rebotes. Se aplica el mismo filtro de 2 m que en el caso anterior para garantizar los rebotes de copas de arbolado.

Con estos parámetros es posible conseguir diferenciar de forma aproximada lo que llamamos **tipos de masa ampliados** fundamentales y diagnosticar, así, el estado selvícola de dichas masas.

Los tipos de masa ampliados se idearon y utilizaron en el Manual de Tipificación, Inventario y Gestión de rebollares (CRESPO y GARCÍA, 2013) y son aquellos con inclusión de características definitorias determinantes para la gestión.

Para poder calcular estos parámetros selvícolas en cada punto del monte se divide el territorio, como se ha dicho anteriormente, en unidades cuadrículadas, llamadas **celdas**, suficientemente pequeñas como para poder diferenciar la heterogeneidad del arbolado (esto

es importante, sobre todo, en masas irregulares y en masas de monte bajo con distribución en matas) y suficientemente grandes como para que los valores de los parámetros sean consistentes (que existan suficientes rebotes). Se toma el **tamaño de celda de 10 m**, aunque podrían utilizarse distintos:

-Desde 8 m en casos de encinares, sabinars y, en general, montes relativamente abiertos, pasando por 10 m para masas irregulares y 12-15 m para masas plenamente regulares.

### 3.4.-CORRESPONDENCIA CON VARIABLES DASOMÉTRICAS.

-La fracción de cabida cubierta (Fcc) muestra la mayor o menor **apertura** de las masas arboladas.

-La altura (Hm) indica el **estado de desarrollo** de las masas arboladas.

-La **longitud de la copa (Lc)** en una masa más o menos homogénea en cuanto a altura, en competencia (espesura) y habiendo llegado, al menos, al estado de latizal (es decir, la masa ya ha crecido en altura lo suficiente como para que comience la poda natural y empiece a subir la altura de la base de la copa Bc), se encuentra **en relación directa con el espaciamiento** que existe entre los árboles, y por tanto, es indicadora del número de pies/ha (N). Claro, todo esto si no se ha realizado una clara en tiempos tan recientes como para que no haya dado lugar a que las copas recuperen su tamaño.

$$Lc = f(\text{espaciamiento}) = f(N^{(-1/2)})$$

-La **razón de copa (Rc)**, en consecuencia, está directamente relacionada con el Índice de Hart, o sea, con el espaciamiento relativo.

$$Rc = Lc / Hm$$

$$Rc = f(\text{espaciamiento} / Hm) = f(\text{Hart})$$

## 4.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se ha construido un programa que denominamos “SilviLiDAR” (alojado y disponible en <https://github.com/qgis/QGIS-Processing>), el cual mediante un **script** creado para el sistema de información geográfica QGIS, libre y gratuito (lo mismo que el programa), y basado en los parámetros antes aludidos, sirve para **clasificar las celdas** en que se divide el territorio en función de los mismos. Más concretamente, se han seleccionado los **parámetros** que pueden servir para caracterizar las masas y los **valores** que se estima diferencian las mismas, y se ha elaborado una **clave** (incluida en **árbol de decisión**) para definir cada uno de los tipos.

**El script analiza cada celda y saca los valores de Hm, Bc, Lc, Rc y Fcc. Una vez calculados estos valores, se introducen en el árbol de decisión que, en función de los valores discriminantes, nos llevan a clasificar la celda en un determinado tipo de masa ampliado.**

Ese mismo proceso se realiza en todas las celdas del archivo LIDAR analizado e, igualmente, para todos los archivos existentes en la carpeta de trabajo, tanto en formato LAS como LAZ.

Figura 4: Árbol de decisión

Como se puede ver, en la elaboración del árbol de decisión se han considerado los siguientes valores de los parámetros utilizados (concreción de los tipos, que son lo que llamamos tipos de masa ampliados):

- Alturas significativas utilizadas: 3,5 m; 5 m; 7,5 m; (12 m); (16,5 m).

- Con altura menor de 3,5 m no se han considerado actuaciones reseñables y se trataría de monte bravo o raso.

- A partir de 3,5 m de altura, si se trata de masas de encinar, con competencia elevada (razón de copa baja, menor del 35%) y cobertura suficientes (mayor del 46% o mayor del 95% si tienen más de 5 m de altura) dentro de las matas, se ha estimado que se pueden realizar resalveos, ya que se ha visto que poseen diámetro medio suficiente para ser aprovechables.

- A partir de 5 m y hasta 7,5 m de altura, si la base de la copa es baja (está por debajo de 3 m) hay posibilidades de que se pueda hacer poda baja (y clareo, si es el caso), ya que es factible efectuar en torno a 2 m de poda sin menoscabar al arbolado (es decir, sin eliminar más de 1/3 de la copa verde).

- A partir de 7,5 m de altura:

- Si la altura de la base de la copa permite la realización de poda alta sin perjudicar al arbolado (es decir, está por encima de 5,5 m) se ha estimado que se podrían efectuar podas altas y claras suaves si tienen desarrollo de copa suficiente (o sea, la longitud de copa es mayor de 3,25 m) y la cobertura es suficiente, no por debajo de los valores encontrados como normales en masas en las que no se han efectuado claras antes (se ha obtenido la función de la cobertura en relación a la altura y de la longitud de copa que consta en el árbol de decisión). Este es el caso de masas con distribución espacial heterogénea (con competencia asimétrica), como por ejemplo, las repoblaciones por fajas.

- Y en el caso general, es decir, con distribución más o menos homogénea del arbolado por la superficie, se ha estimado que podrían efectuarse claras si la razón de copa es reducida (inferior al 35%) y existe cobertura alta (mayor del 95%).

- Por encima de esa altura, también se diferencia entre latizal y fustal en función de la altura o del diámetro medio que se ha fijado.

- Y para las masas más desarrolladas (altura mayor, en principio, de 16,5 m) se distinguen, además, aquéllas que pueden ser susceptibles de regeneración por posible coronación en su crecimiento, al manifestar que no desarrollan copa, poseyendo una razón de copa extremadamente reducida (inferior al 17%) y, al mismo tiempo, una cobertura no excesiva.

Lo esencial es la construcción y conformación de la aplicación que incluye la herramienta. Después, los valores discriminantes de los parámetros que hemos mencionado,

incluso **se pueden variar** a gusto del consumidor en función de los datos LiDAR disponibles, de los modelos selvícolas que se adopten o de la experiencia que se vaya adquiriendo.

Los **tipos de masa ampliados** vienen determinados por la **altura** y su **variabilidad**, la **densidad**, la **vigorosidad** y la **calidad tecnológica** del arbolado. También por el diámetro cuadrático medio y el área basimétrica, según el Manual de tipificación, inventario y gestión de rebollares (CRESPO y GARCÍA, 2013), aunque estos dos no se han utilizado por estar relacionados con la altura y la densidad, ya contempladas.

La concreción, en forma de clave, de los valores discriminantes de los parámetros antes descritos se ha efectuado tratando de diferenciar los **tipos de masa ampliados** fundamentales. No se han considerado todos los ampliados porque hay ciertas cualidades, como la calidad tecnológica y la vigorosidad, que todavía no se han implementado en la herramienta. En cuanto a la diferenciación entre latizal y fustal se podría dar la opción de utilizar, en lugar de la altura, el diámetro obtenido mediante una función deducida a partir de una de las ecuaciones fundamentales de las tablas de producción.

Dicha clave incorporada al árbol de decisión presentado forma parte de la **herramienta** informática que permite automatizar la **caracterización** y, mediante su salida gráfica, representar **cartográficamente** la misma.

La **razón de copa** refleja la **competencia** habida en la masa arbolada, ya que está relacionada con el **espaciamiento relativo** del arbolado: a menor espaciamiento, menor razón de copa. En otras situaciones, también puede ser reveladora de **senectud del arbolado**: por ejemplo, en masas añosas el arbolado puede tener una razón de copa relativamente baja, a pesar de que no exista gran competencia aérea, porque ya no es capaz de recuperar longitud de copa.

Se ha comprobado que las masas muy densas poseen normalmente una **Rc menor de 35%**. Y para que sea posible realizar la primera clara se estima que es necesario que la **base de la copa esté a más de 5,5 m del suelo**, fundamentalmente por cuestiones tecnológicas relacionadas con la ramiosidad.

En cuanto a la razón de copa, existe bibliografía (SERRADA, 2008) que la relaciona con la necesidad de realizar claras por competencia del arbolado, estableciendo el valor del 40% de razón de copa como indicador de clara y del 30% como límite para la estabilidad de la masa. En nuestro caso, hablamos de un 35% de razón de copa funcional, que teniendo en cuenta que es un parámetro con valores menores que los de la razón de copa propiamente dicha, es coherente con la bibliografía. Además, SERRADA (2008) manifiesta lo siguiente: “Los valores referidos pueden considerarse correctos y con aplicación casi universal (HAWLEY y SMITH, 1982; BOUDRU, 1989), aunque pueden plantearse excepciones en masas de especies extremadamente tolerantes o intolerantes, así como en masas artificiales en las que el marco inicial de plantación haya sido muy desproporcionado, provocando una poda natural asimétrica en los árboles”.

Ejemplo de masas artificiales con marco de plantación muy desproporcionado lo constituyen las repoblaciones **por fajas**. En este caso, para determinar el momento de la primera clara, se ha considerado que (además de poseer, como se ha dicho antes, la base de la

copa a más de 5,5, m del suelo) sin cumplir que Rc sea menor de 35%, la longitud de la copa tenga suficiente desarrollo (o sea, más de 3,25 m) y la fracción de cabida cubierta no sea pobre (que supere el 57,5%).

Para **discriminar** aquellas **masas arboladas que han sido objeto de claras recientemente** se ha utilizado la Fcc de tal modo que, se ha observado que no se han efectuado dichas claras: en las masas con distribución regular de los árboles (o sea, no dispuestos en fajas, ni en matas) si la  $Fcc > 95\%$ , y en las masas con disposición en fajas de los árboles si la Fcc es superior a un valor límite establecido en función de Hm y de Lc, estimado de tal forma que:  $Fcc > (0,1167 \times Fcc + 3,6667) \times Hm \wedge 1,04328809 \times (Hm - Bc) \wedge (-0,49505946)$ . Esta función se ha determinado comparando las masas susceptibles de claras con las ya aclaradas.

Otro caso singular es el de los encinares, en los cuales se estima que puede efectuarse aprovechamiento de leñas cuando la competencia (razón de copa y fracción de cabida cubierta) dentro de las matas sea elevada y la altura sea adecuada (con objeto de que el diámetro sea suficiente como para ser aprovechable).

Se han diferenciado también las masas arboladas en las que se estima que hay posibilidad de efectuar **tratamientos selvícolas**: son aquéllas con altura (Hm) comprendida entre 5 y 7,5 m y, además, base de copa tal que la longitud de la misma permite efectuar poda sin menoscabar al arbolado (no supongan los 2 m de poda quitar más de 1/3 de copa verde).

Para diferenciar el aspecto de la **senectud** comentado anteriormente, se consideran las masas arboladas con cobertura baja ( $Fcc < 95\%$ ) que tienen una razón de copa muy reducida ( $Rc < 17\%$ ). Esto queda justificado porque son masas relativamente claras que, a pesar de ello, no han sido capaces de recuperar copa como para que se produzca el cierre del dosel arbóreo y el incremento de la razón de copa.

Todas las actuaciones incluidas en el árbol de decisión no constituyen más que una propuesta de acciones selvícolas para cada uno de los estados de desarrollo de las masas arboladas.

**Homogeneización de salida gráfica:** Dada la variabilidad que puede existir entre celdas contiguas y con el fin de conseguir que el tamaño de las teselas de salida gráfica (y, en definitiva, de las posibles actuaciones selvícolas sobre el terreno) no sea demasiado reducido se ha añadido en la herramienta una aplicación para utilizar con las teselas en las que es preciso realizar alguna actuación (fundamentalmente para las claras) que automáticamente agrupa todas las teselas que se encuentren separadas a menos de una distancia mínima.

**Proyección temporal de parámetros:** Dado que los datos del vuelo LiDAR son de una fecha del pasado y que el monte evoluciona, se da la opción de proyectar los parámetros para determinar las necesidades de actuación en otras fechas a la del vuelo. Y se basa en el incremento de altura del arbolado y de la fracción de cabida cubierta, por lo cual, hay que considerar un determinado crecimiento anual de las mismas, que en nuestro caso, por defecto, se ha considerado un incremento de 0,3 m/año para la altura y de 2,5 unidades porcentuales/año para la Fcc. Esto se ha considerado para alturas superiores a 5 m con el fin de que las masas de especies de crecimiento bastante inferior no se vean afectadas de estos



incrementos. Además, suponemos que, durante el crecimiento,  $L_c$  se mantiene constante si el arbolado tiene altura suficiente (nosotros lo aplicamos genéricamente a partir de 7,5 m de altura) como para que  $L_c$  haya alcanzado el que corresponde al espaciamiento del arbolado (y si no se ha producido una clara recientemente), con lo cual, se puede saber en qué momento  $R_c$  es suficientemente baja como para realizar la clara. No obstante, cuando se proyectan temporalmente los datos hay que tener en cuenta las zonas objeto de actuación selvícola posterior al vuelo LiDAR, así como aquellas otras que hayan sufrido cualquier otro cambio del tipo incendio o similar.



Figura 5: MUP 10 de Soria con *Quercus pyrenaica*.

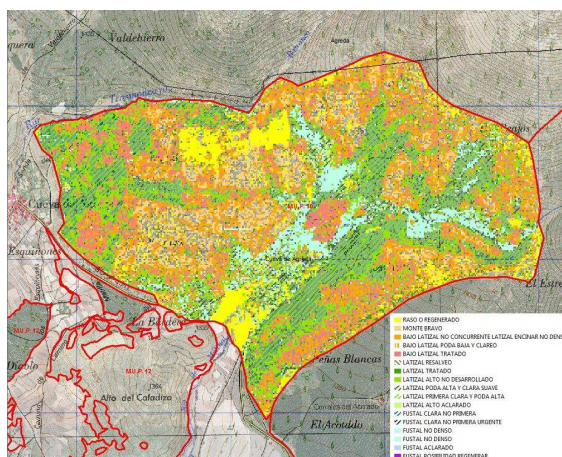


Figura 6: SilviLiDAR proyectado aplicado al MUP.

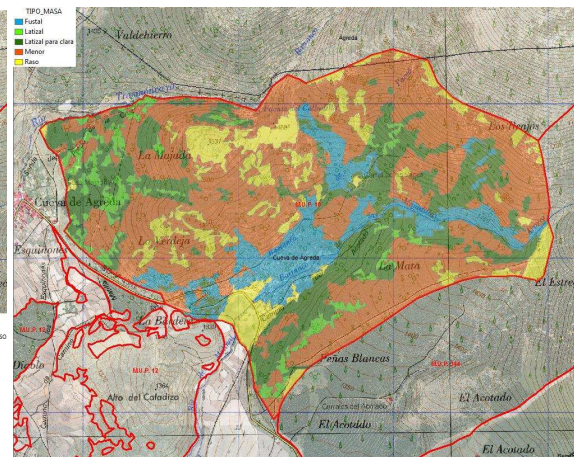


Figura 7: Rodalización en base al SilviLiDAR.

## 5.-CONCLUSIONES.

-Los datos LiDAR, tomados durante el período vegetativo, permiten evaluar la estructura y el estado de desarrollo de las masas arboladas, y el grado de competencia en las mismas.

-El análisis de la estructura del arbolado sirve para efectuar la diagnosis selvícola del monte y determinar el momento de posibles actuaciones selvícolas.

-La **metodología y herramienta aportadas** con este trabajo hacen posible la **utilización de forma sencilla** de los datos LiDAR para la diagnosis selvícola.

-También permite una **rodalización** automatizada e inmediata del monte con gran aproximación de los tipos de masa ampliados existentes.

-Permite la visualización de las masas del bosque que presumiblemente necesitan de actuaciones selvícolas (**zonas a aclarar** por competencia excesiva, **zonas a efectuar tratamientos selvícolas**) y la prioridad de las mismas.

-Por tanto, permite realizar una aproximación a la **planificación** selvícola básica y de forma rápida.

-Hace posible **concentrar el esfuerzo de inventario** en las zonas que lo requieren, reduciendo gastos.

-Esta herramienta se convierte en un **complemento eficiente y rápido** al resto de herramientas utilizadas para la planificación de la gestión.

-Los **parámetros selvícolas elaborados** (base de copa, longitud de copa y razón de copa LiDAR) con la presente metodología, además de permitir efectuar un **análisis cualitativo** de las masas arboladas, también, pueden utilizarse para mejorar, por su mayor sentido biológico, la **cuantificación de existencias** del bosque que hasta ahora se llevaba a cabo con los estadísticos o parámetros LiDAR usuales.

-Sería muy interesante **repetir periódicamente** estos vuelos LiDAR para el seguimiento de la evolución del monte.

-Esta misma metodología y herramienta basada en LiDAR, adaptando la clasificación de tipos de masa, puede utilizarse para **otras posibles líneas de desarrollo**, como puede ser la cartografía de **modelos de combustible** y de defensa contra incendios.

## 6.-AGRADECIMIENTOS.

A Víctor Olaya Ferrero, por sus consejos y revisión.

## 7.-BIBLIOGRAFÍA.

BOUDRU, M. -1989. *Fôret et Sylviculture: Traitement des fôrets*. Les Presses Agronomiques de Gembloux. Belgica.

CRESPO RODRIGO, A. y GARCÍA QUINTANA, I. - 2013. *Manual de tipificación, inventario y gestión de rebollares*. Junta de Castilla y León.

Fugro N.V. - 2016. *Fugroviewer*. Leidschendam (The Netherlands).  
<http://www.fugroviewer.com/>



HAWLEY, R.C. y SMITH, D.M. - 1982. Silvicultura Práctica. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

LANIER, L. - 1986. *Precis de Sylviculture*. ENGREF. Nancy.

McGAUGHEY ROBERT, J. - 2008. Fusion. U. S. Forest Service. Department of Agriculture.

QGIS Development Team - 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

Rapidlasso GmbH. – 2016. Paquete de software LAStools. Gilching (Germany). <http://lastools.org>.

SEVILLA MARTÍNEZ, F. – 2008. Una teoría ecológica para los montes ibéricos. Junta de Castilla y León.

SERRADA, R. - 2008. Apuntes de Selvicultura. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid.

SCHÜTZ, J.P. - 1990. Sylviculture 1. Principes d'education des fôrets. Pres. Pol. et Univ. Rom. Lausanne. Suiza.

SMITH, D.M. - 1986. The Practice of Silviculture. Wiley & sons. New York. USA.